



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Beboernes betydning for den realiserede varmebesparelse ved renovering af boliger

Gram-Hanssen, Kirsten; Jensen, Jesper Ole; Hansen, Anders Rhiger; Trotta, Gianluca; Johansen, Katinka

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2020

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Gram-Hanssen, K., Jensen, J. O., Hansen, A. R., Trotta, G., & Johansen, K. (2020). *Beboernes betydning for den realiserede varmebesparelse ved renovering af boliger*. BUILD, Aalborg Universitet. SBI Bind 2020:05
<https://sbi.dk/Pages/Beboernes-betydning-for-den-realiserede-varmebesparelse-ved-renovering-af-boliger.aspx>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SBI 2020:05

Beboernes betydning for den realiserede
varmebesparelse ved renovering af boliger



Beboernes betydning for den realiserede varmebesparelse ved renovering af boliger

Kirsten Gram-Hanssen
Jesper Ole Jensen
Anders Rhiger Hansen
Gianluca Trotta
Katinka Johansen

Titel	Beboernes betydning for den realiserede varmebesparelse ved renovering af boliger
Serietitel	SBi 2020:05
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2020
Forfattere	Kirsten Gram-Hanssen, Jesper Ole Jensen, Anders Rhiger Hansen, Gianluca Trotta, Katinka Johansen
Sprog	Dansk
Sidetæl	101
Litteratur-henvisninger	Side 99-101
Emneord	Energirenovering, Energiforbrug, Indeklima, Isolering, Varmebesparelser, beboere
ISBN	978-87-563-1942-3
Omslagsfoto	Claus Bech-Danielsen
Udgiver	BUILD, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk www.build.aau.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Forord

Bygningers energiforbrug tegner sig for op mod en tredjedel af det samlede energiforbrug i Danmark. Derfor er reduktionen af dette en væsentlig faktor, når regeringens målsætning om 70 pct. reduktion af drivhusgasser inden år 2030 skal nås.

Denne rapport er skrevet på baggrund af et udbud fra Energistyrelsen fra d. 29 august 2019: "Kortlægning af realiseringen af beregnede energibesparelser fra renovering af boliger". Rapporten tager udgangspunkt i en væsentlige problemstilling. Nemlig, at det tekniske potentiale, som kan beregnes for hvor meget energi, der kan spares i boligsektoren ved at renovere boliger op til nyere energieffektiviserings standarder ikke indfris. Den oftest anførte forklaring på dette er, at beboerne ændrer adfærd i forbindelse med renoveringen af boligen, og at hele eller dele af den forventede energibesparelse ved energieffektiviseringen omsættes til højere komfort for beboerne, frem for energibesparelser.

På denne baggrund har Energistyrelsen ønsket at få følgende belyst:

- 1) Afdækning af den eksisterende viden på området.
- 2) Gennemførelse af brugerundersøgelser eller lignende for afklaring af den aktuelle status for opnåede besparelser.
- 3) Hvad er potentialet?

Metoderne, der er anvendt til at svare på problemstillingen inkluderer en kombination af litteraturstudier, nye analyser på eksisterende spørgeskema-data samt nye kvalitative data. Projektet har været ledet af professor Kirsten Gram-Hanssen. Anders Rhiger Hansen og Gianluca Trotta har stået for kapitel 3 vedrørende parcelhuse. Jesper Ole Jensen har været ansvarlig for kapitlet om etageboliger. Herudover har Kim Wittchen, Niels Bergsøe og Jesper Kragh bidraget med viden og beregninger.

Der har undervejs i projektet været dialog med Energistyrelsen om projektets indhold og fremdrift. En foreløbig version af rapporten har været sendt til Energistyrelsen, som har læst den og derefter bedt om uddybninger på udvalgte områder.

Kapitel 3 og 4 er kvalitetssikret af Kirsten Gram-Hanssen, og rapportens øvrige dele er kvalitetssikret af Toke Haunstrup Christensen

Statens Byggeforskningsinstitut(SBi), Aalborg Universitet
Afdelingen for By, Bolig og Ejendom

Hans Thor Andersen
Forskningschef

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Resume	6
Baggrund.....	6
Reduktion af det potentielle besparelspotentiale	6
Hvad kan forklare forskellen og kan dette påvirkes?	7
Højere temperaturer efter renovering.....	7
Ændringer i areal og tidsrum der opvarmes.....	7
Varme- og ventilations systemer	8
Varmtvandsforbrug.....	9
Potentiel besparelse ved yderligere tiltag?	9
Kommunikation samt teknologi til feedback og styring af forbrug.....	10
Anbefalinger omkring teoretiske beregninger	10
Hvad kan mere gøres for at begrænse boligens energiforbrug?.....	11
1 Introduktion	12
1.1 Forskningens udfordringer og begrænsninger	12
1.2 Rapportens opbygning og metodevalg	13
1.3 Brug af spørgeskemadata og kvalitative interviews	13
2 Litteraturstudie	15
2.1 Metode i litteraturstudiet og opbygning af kapitlet	15
2.2 Register- og spørgeskemabaserede studier.....	15
2.2.1 Danske registerbaserede studier	15
2.2.2 Danske spørgeskemabaserede studier	17
2.2.3 Internationale registerbaserede studier.....	19
2.3 Casebaserede studier.....	20
2.3.1 Danske casebaserede studier.....	20
2.3.2 Internationale casebaserede studier	22
2.4 Review samt begrebs- og konceptbaserede studier	22
2.5 Sammenfattende konklusioner fra tidligere studier	24
2.5.1 Hvor stor en andel af besparelsen opnås ikke?	24
2.5.2 Hvad er årsagerne?.....	25
2.5.3 Hvad varierer forskellene med?	26
2.5.4 Hvad skal der gøres ved det?	27
3. Analyser af enfamiliehuse på baggrund af spørgeskemaundersøgelse og varmeforbrug	28
3.1 Reelle forskelle i varmeforbrug mellem renoverede og ikke renoverede (sammenlignelige) huse	28
3.1.1 Gruppering (klyngeanalyse)	29
3.1.2 Modellering (regressionsanalyse)	29
3.1.3 Sammenligning med tekniske beregninger.....	30
3.2 Forskelle i husstandspraksis i renoverede og ikke-renoverede huse	33
3.3 Skalering af resultater til national repræsentativitet.....	34
3.4 Opsamling.....	36
4. Analyser af etageboliger på baggrund af tidligere måleprojekter.....	37
4.1 Formål	37
4.2 Metode	37
4.2.1 Afsøgning af eksempler.....	37
4.2.2 Interviews med beboere og ejendomsfunktionærer.....	37
4.3 Sammenfatning af relevante undersøgelser.....	38
4.4 Præsentation af fire udvalgte ejendomme	40
4.4.1 Skoleparken Hillerød	40
4.4.2 Ryesgade 25, København.....	42
4.4.3 Gadehavegaard.....	44

4.4.4 Traneparken, Hvalsø.....	47
4.5 Sammenligning af beregnede og opnåede besparelser for udvalgte ejendomme	49
4.6 Vurderinger i forhold til det empiriske materiale	51
4.6.1 Indetemperatur	51
4.6.2 Badevaner	53
4.6.3 Ventilation og udluftning.....	53
4.6.4 Information og viden.....	55
4.7 Konklusioner fra analyser af etageejendomme	55
4.7.1 Årsager til forskelle mellem beregnede og reelle besparelser....	55
5. En kvantificering og kvalificering af det realistiske potentiale for besparelser	58
5.1 Hvad er potentialet for varmebesparelser reelt?	58
5.1.1 Hvordan er det tekniske potentiale fremkommet	58
5.1.2 Korrektion af det tekniske beregnede potential	59
5.1.3 Årsagerne til at det tekniske potentiale ikke nås.....	60
5.2 Ny fremtidig beboeradfærd og anden potentiel positiv effekt	62
5.2.1 Hvad kan der realistisk ændres på?	62
5.2.2 Hvad er et rimeligt komfortniveau?	64
5.3 Potentialet for styring og regulering.....	67
5.3.1 Feedback til forbrugerne	67
5.3.2 Teknologi der hjælper med styring af forbrug	67
5.4 Hvordan kan beboerne påvirkes til at handle anderledes?	69
Bilag 1. Data beskrivelse	71
Spørgeskemaundersøgelserdata.....	71
Varmeforbrugsdata	71
Registerdata.....	72
Bilag 2. Metodebeskrivelse	73
Bilag 3. Spørgeskema spørgsmål	74
Renovering.....	74
Påklædning	74
Udluftning.....	75
Regulere termostater	75
Indetemperatur	75
Badning.....	75
Bilag 4. Resultater via grupperingsmetoden	76
Bilag 5. Resultater via modelleringsmetoden.....	80
Bilag 6. Tekniske beregninger af varmebesparelser.....	81
Bilag 7. Forskelle i husstandspraksisser	82
Påklædning.....	82
Udluftning.....	82
Regulering af termostater	85
Indetemperatur	87
Badning.....	88
Bilag 8. Referater fra centrale kilder vedrørende etageejendomme	89
Renovering af syv ejendomme	89
Ryesgade 30.....	90
Brændgårdsparken	91
Hornemanns Vænge.....	92
Traneparken.....	93
Bilag 9. Interviewguide til beboere	95
Bilag 10. Interviewguide til ejendomsfunktionærer.....	97
Litteratur	99

Resume

Baggrund

Energipolitisk er det vigtigt at kunne estimere det potentiale, der er for energibesparelser ved at renovere bygninger. Ud fra tekniske analyser kan der beregnes et teknisk effektiviseringspotentiale for energirenovering af boliger i Danmark på ca. 30 %. Dette potentiale må imidlertid ikke opfattes som, hvad der faktisk kan forventes. Tekniske beregninger kan sige noget om en boligs energieffektivitet i forhold til en anden boligs energieffektivitet uafhængigt af brugen, men beregningerne er ikke velegnede til at forudsige det reelle energiforbrug i boliger. Dermed kan beregningerne heller ikke sige noget om konkrete realiserede besparelser.

I denne rapport er opgaven at estimere, hvor stor en andel af det tekniske beregnede potentiale, det er realistisk at opnå. På baggrund af internationale og danske erfaringer er det velbeskrevet, at en væsentlig andel af de teoretisk beregnede besparelser ikke opnås i virkeligheden. Det er ofte forklaret ved, at beboerne skruer op for varmen i forbindelse med en energirenovering og derfor ikke opnår det fulde potentiale i forhold til den beregnede besparelse.

Reduktion af det potentielle besparelspotentiale

I denne rapport er konklusionen, at forklaringen på forskellen mellem beregnet og reelt forbrug i høj grad skal findes i, at beregningerne tager udgangspunkt i nogle ideelle forhold. De er ikke udviklet til at forudsige reelle forbrug eller besparelser. Når den reelle og den beregnede besparelse ikke er identisk, er det således ikke udelukkende på grund af beboernes adfærd, men også fordi man sammenligner usammenlignelige størrelser.

Når man skal fastlægge realistiske besparelspotentialer, i forhold til det teoretiske, må man tage udgangspunkt i konkrete erfaringer med at energirenovere og se, hvilke besparelser, der her er opnået i sammenligning med de beregnede besparelser. I denne rapport har vi, i kapitel 2, gennemgået international og dansk litteratur og er kommet frem til, at 20-60 % af det teoretisk beregnede potentiale ikke er realiserbart i virkeligheden. I kapitel 3 har vi på baggrund af en spørgeskemaundersøgelse, som er koblet med det reelle varmekonsum konkluderet, at blandt danske parcelhuse ses det, at 50-80 % af det teoretisk beregnede potentiale ikke opnås. I kapitel 4 har vi for etageboligrenoveringer i Danmark konkluderet, at ca. 50 % af de beregnede besparelser ikke opnås, og at der her er en spændvidde i, hvad der realiseres fra 30-70 %.

Alle analyser viser således, at der er en stor spændvidde med hensyn til, hvilken andel af de beregnede besparelser, det er realistisk at opnå. Denne store spændvidde skal ses som et udtryk for, at det er yderst vanskeligt at indsamle tilstrækkelige data for store repræsentative grupper af boliger. Det skal også ses som et udtryk for, at den virkelighed, der skal indfanges i disse analyser er kompleks og vil variere med boligtyper, bygningsaldre, renoveringstyper, beboertyper og hverdagsliv.

På baggrund af analyser i kapitel 2, 3 og 4 konkluderes det, at der i gennemsnit kun realiseres 40-60 % af det beregnede besparelspotentiale. **Frem for et besparelspotentiale på 30 % skal der således kun regnes med et besparelspotentiale på 12-18 % ved renovering af de eksisterende boliger, medmindre der iværksættes yderligere tiltag.**

Et væsentligt spørgsmål i denne rapport har været, hvilke konkrete forhold, der har betydning for forskellen mellem den beregnede og den reelle besparelse, idet tanken er, at disse faktorer så kan påvirkes til en vis grad.

Hvad kan forklare forskellen og kan dette påvirkes?

Teoretiske beregninger bruger standardværdier for temperatur og luftskifte til beregning af besparelspotentialer, hvilket er vigtigt, hvis man ønsker et udtryk for et rent teknisk energibesparelspotentiale. En væsentlig del af forklaringen på forskellen mellem det beregnede og det reelle forbrug er imidlertid, at indetemperatur og luftskifte varierer meget fra bolig til bolig.

Højere temperaturer efter renovering

På baggrund af tidligere studier, beskrevet i kapitel 2 og nye analyser præ-senteret i kapitel 4, konkluderes det i denne rapport, at højere temperaturer efter renovering udgør en væsentlig del af forklaringen på, at den reelle besparelse er lavere end den beregnede. Det kan dog ikke forklare hele forskellen. På baggrund af analyser i kapitel 3 om parcelhuse kan der ikke siges noget om, hvorvidt der er højere temperaturer i boligerne efter renovering, men sammenholdes disse med andre studier inden for parcelhussektoren forventes dette at være tilfældet. Konklusioner fra kapitel 2 og 4 angiver, **at det højst er 20 % af forskellen mellem den beregnede besparelse og den reelle, der kan forklares ved, at der efter renovering er en højere temperatur i boligerne.**

Analyserne peger imidlertid samtidigt på, at det ikke altid skal opfattes som et bevidst eller aktivt valg fra beboernes side, at der er højere indetemperaturer efter renoveringen. Beboerne giver ofte udtryk for, at de har samme adfærd i forhold til opvarmning før og efter renoveringen, men at de oplever en højere komfort i deres bolig efter renoveringen. Med uændret adfærd, herunder at termostater står på samme indstilling som før renoveringen, leverer boligens klimaskærm og varmesystem en højere indetemperatur, hvilket ofte er værdsat af beboerne. Det kan imidlertid være misvisende alene at opfatte dette som et bevidst valg fra beboernes side om at omsætte potentielle besparelser til højere komfort. Hvis årsagen til, at en bolig energirenoveres er, at der er utilfredshed med indeklimaet før renoveringen er det særligt forventeligt, at der er højere temperaturer efter renoveringen. **I forhold til de 20 % af forskellen mellem den beregnede og den opnåede besparelse, som kan siges at hænge sammen med en højere indetemperatur, er det således kun en mindre andel af disse, som man kan forvente at kunne påvirke beboerne til at ændre adfærd i forhold til.**

Ændringer i areal og tidsrum der opvarmes

Et andet aspekt af højere indetemperatur, der potentielt kan bidrage til at forklare forskellen mellem beregnet og opnået besparelse, vedrører hvor stor en andel af boligen, der opvarmes, og hvor lang fyringssæsonen er. Hvis en større andel af boligen opvarmes efter renoveringen end før, og hvis fyringssæsonen udvides, vil dette bidrage til at forklare, at der er højere energiforbrug efter renoveringen end beregnet. Dette forhold kan for etageboligers vedkomne inkludere, at altaner inddækkes og opvarmes, hvilket vil føre til en ændret brug af boligen, som dermed kan påvirke energiforbruget, da der er

flere kvadratmeter, der opvarmes. For parcelhuse, kan det dreje sig om kælderrum og ekstraværelser, der tidligere har været begrænset opvarmet, og som efter renovering bliver opvarmet til stuetemperatur. Udvidet fyringssæson kan fx dreje sig om varme i gulvet i nyrenoverede badeværelser i sommerhalvåret. Vi har i kapitel 3 forsøgt at eftervise sådanne sammenhænge for parcelhuse, men er ikke nået frem til signifikante resultater, når vi sammenligner parcelhuse, der er renoveret med parcelhuse, der ikke er. Den brugte metode kan således **hverken afvise eller bekræfte, at ændret fyringssæson og øget opvarmet areal er en del af forklaringen på forskellen mellem den beregnede og den opnåede besparelse. Forskning i øvrigt har dokumenteret, at øget areal har stor betydning for det endelige energiforbrug, uafhængigt af om boligen er renoveret eller ej. Beregningsoverslag for parcelhuse angiver, at 5-10 % af den manglende besparelse kan forklares ved, at en større del af boligen opvarmes.**

Varme- og ventilations systemer

Hvor stort luftskifte, der faktisk er i boliger før og efter renovering ved, man meget lidt om. De tal, der indgår i de tekniske beregninger kommer fra det anbefalede luftskifte i Bygningsreglementet. Det faktiske luftskifte vil variere med, hvordan og hvor meget beboere åbner og lukker vinduer og døre samt om de har mekanisk ventilation, hvor varmetabet til ventilation vil hænge sammen med, om ventilationen har varmegenvinding eller ej. Korrekt udluftning er vigtigt for at opnå et sundt indeklima. Særligt i mindre boliger, og hvor mange mennesker bor tæt sammen samt hvis bygningen er tæt, er det vigtigt, at der er tilstrækkelig udluftning for at undgå skimmelsvamp. Det er således ikke ønskeligt at begrænse luftskiftet for at opnå energibesparelser, hvis det går ud over indeklimaet, men det er ønskeligt at begrænse træk og unødvendigt højt luftskifte. Ved renovering af etageejendomme vil der ofte også blive skiftet varme- og ventilationssystem og analyser viser, at der i den forbindelse ofte er problemer, som forventes at kunne forklare dele af forskellen mellem den forventede besparelse og den reelt opnåede besparelse. Dette handler dels om, at de nye varme- og ventilationssystemer ikke bliver ordentligt indreguleret, inden de tages i brug. Dette kan give anledning både til gener for beboerne og til unødvendigt energiforbrug. Et andet aspekt handler om, at beboerne ofte ikke er ordentlig informeret om, hvordan de skal bruge det nye system. Det er stort set kun i etagebebyggelser, at denne problemstilling forventes at bidrage til at forklare forskellen mellem beregnet og opnået besparelse, da det primært er her, der bruges mere komplicerede varme- og ventilationssystemer. Blandt renoverede etageboliger, hvori der indgår ændret varme- og ventilationssystem, er vurderingen, at det er en væsentlig problemstilling. I enkelte renoveringer vil det være over halvdelen af forskellen mellem reelt og beregnet besparelse, der kan forklares ud fra de forkert indregulerede varme- og ventilationssystemer, og i andre vil det stort set ikke være relevant. Det vurderes samlet, at den **andel af den manglende besparelse, der kan forklares med dårligt indregulerede systemer og forkert beboeradfærd, er i størrelsesordenen 10-20 % i gennemsnit i etageboliger, men stort set ikke har nogen andel i parcelhuse.** Det er vigtigt, at kommunikation til beboere om korrekt udluftningsadfærd sker i de enkelte bebyggelser, så den er tilpasset de helt konkrete varme- og ventilationsløsninger i de enkelte bygninger, og det er vigtigt at driftspersonalet inddrages i denne kommunikation. Desuden er det vigtigt, at bygninger er korrekt indreguleret før de tages i brug, hvilket kan ske ved commissioning, hvor det skal dokumenteres, at bygningen lever op til fastsatte krav før ibrugtagning. **Ved en prioriteret indsats bør energispild til forkert indregulering og brug af varme- og ventilationssystemer kunne forhindres.**

Varmtvandsforbrug

Varmtvandsforbrug kan være en væsentlig forklaring på, hvorfor teoretisk beregnede energiforbrug er forskellige fra reelle forbrug, men er ikke nødvendigvis væsentligt for, hvorfor den beregnede *besparelse* er forskellig fra den reelt opnåede besparelse. I beregningerne indgår varmtvandsforbrug som en faktor, der afhænger af boligens areal, hvor det i praksis må forventes at afhænge af antallet af beboere og deres badevaner. Når man skal se på forskellen mellem beregnet besparelse og reel besparelse, er det væsentlige således om *forbruget af varmt vand ændrer sig* med renoveringen. Det kan konkluderes, at i enkelte renoveringsprojekter kan et højere varmtvandsforbrug efter renoveringen bidrage med en væsentlig del af forklaringen på, at der er opnået mindre besparelser end beregnet. Det gælder særligt, hvis badeforholdene tidligere har været mangelfulde eller i en tilstand, som beboerne ikke har ønsket at bruge. I forhold til parcelhuse indikerer analyser, at antallet af bade er højere i nogle boliger, der er energieffektiviseret, i forhold til sammenlignelige boliger, der ikke er energieffektiviseret. Det kan skyldes, at der samtidig med energieffektiviseringen er lavet renovering af bad eller ekstra baderum. **Samlet set vurderes det, at varmt brugs- vand ikke bidrager væsentligt til at forklare forskelle mellem beregnet og opnået energibesparelse, og i de tilfælde hvor det gør, hænger det ofte sammen med, at beboerne har haft badeforhold, der var under almindelig standard før renoveringen.**

Potentiel besparelse ved yderligere tiltag?

Som nævnt er det kun en besparelse på 12-18 % af det eksisterende energiforbrug, som kan forventes ved renovering af bygninger uden yderligere tiltag. Spørgsmålet om, hvor meget højere en besparelse, der kan forventes ved yderligere tiltag, skal ses i forhold til hvilke forhold, der er vurderet til at begrænse den opnåede besparelse. De forhold, som ovenfor er vurderet af betydning, og som det vurderes realistisk at ændre på i forbindelse med renoveringen, er:

- Det vurderes, at det er muligt i et vist omfang at forebygge stigende indetemperaturer gennem supplerende tiltag ved renoveringer og dermed reducere betydningen af dette
- Det vurderes, at det er muligt at forebygge problemer med dårligt indreguleret varme og ventilationsanlæg i etagebebyggelser og dermed undgå energitab som følge af dette.

I kapitel 5 er det estimeret, at op mod 8 % af den manglende besparelse kan indhentes ved yderligere tiltag på disse to områder. Fremfor at forvente, at kun 12-18 % af energiforbruget til boligopvarmning kan reduceres, viser disse analyser, at det **er op til 14-20 % af det nuværende energiforbrug til boligopvarmning, som kan spares ved energirenoveringer, hvis yderligere tiltag iværksættes.**

Når mulige besparelser relateret til ikke at hæve temperaturer efter renovering, skal opnås, er de mest oplagte tiltag kommunikation samt teknologi til at hjælpe med styring og regulering af opvarmningen. Tilsvarende når problemer med dårlig indregulering af varme og ventilationsanlæg skal afhjælpes er kommunikation og brug af styringsteknologi de oplagte løsninger. Da denne rapport peger på at kommunikation og teknologi bør følges ad beskrives de under et.

Kommunikation samt teknologi til feedback og styring af forbrug

Kapitel 5.3 sammenfatter dansk og international forskning og viden omkring potentialer for besparelser i forbindelse med digitalisering og styring af opvarmning. Det vurderes her, at 2-3 % af det samlede energiforbrug kan spares ved brug af feedback til beboerne omkring deres energiforbrug. Det kræver dog, at denne feedback gives på en hensigtsmæssig måde. Desuden peger andre studier på, at styring af varmekonsum, der hjælper beboerne til at opnå den ønskede indetemperatur, kan føre til besparelser på ca. 2 %. Disse procentsatser kan dog ikke adderes, idet feedback handler om at motivere beboerne til at ændre måden, de bruger varme på, mens styringen potentielt kan hjælpe med at gennemføre de ændringer, man ønsker. Samlet set peges der på, at det ikke er mere end 3 % af det samlede forbrug, der kan forventes sparet ved brug af digital feedback og styring direkte i den enkelte husstand. Det er vigtigt at være opmærksom på, at smart styring af varmekonsum, som inkluderer internetopkoblede sensorer og styringsenheder, også kan bidrage til et højere forbrug, fordi udstyret i sig selv forbruger energi og fordi det bliver nemmere at kontrollere varmekomforten. Hvis beboerne er mere motiveret til at opnå høj komfort frem for energibesparelse ved brug af teknologien, eller hvis beboerne ikke forstår teknologien, er der således også set øget energiforbrug ved ny smart styring.

Styring af varme kan potentielt bidrage til større besparelser, hvis der slukkes for varmen om natten og i dagtimerne, således at boliger kun opvarmes, når der er brug for det. Hvis dette bliver udbredt, vil det imidlertid bidrage til yderligere morgen og eftermiddags toppe i forbruget af el og fjernvarme, hvilket, ud fra fleksibelt energiforbrug og yderligere introduktion af vedvarende energi i energisystemet, ikke er ønskeligt.

Et andet sted, hvor digitalisering af forbrug med tilhørende styring og regulering forventes at levere energibesparelser er ved indregulering og efterfølgende styring af varme- og ventilationssystemer i større etageboliger. Som beskrevet, kan dette være en væsentlig del af forklaringen på forskellen mellem teoretisk beregnet og reelt målt besparelse i etageboliger, som får etableret nye varme- og ventilationssystemer i forbindelse med renovering. Teknologi kan ikke stå alene med hensyn til at undgå dette besparelsestab, men korrekt indregulering før ibrugtagning kan hjælpes på vej via styringssystemer. Efterfølgende kan styringssystemer bidrage til at finde fejl, forudsat at driftspersonalet er uddannet til at bruge og forstå den nye teknologi. I etageboliger er der et samspil mellem varme- og ventilationssystem, driftspersonale og beboerne, som er vigtigt for, at bygningen fungerer optimalt i forhold til komfort og energiforbrug. Teknologi kan, brugt på den rigtige måde, fremme dette samspil, men det kræver en sideløbende kommunikationsopgave i forhold til både driftspersonale og beboere. Ved samtidige indsatser forventes det således, at energitab som følge af dårligt fungerende systemer bør kunne undgås, således at den manglende opnåede besparelse på anslået 15 % i etageboliger elimineres, som beskrevet i foregående afsnit. Samlet set forventes både kommunikation og teknologi således at bidrage til, at de op til 8 % ikke-realiseret besparelse hentes ind.

Anbefalinger omkring teoretiske beregninger

Samtidig med, at disse procentsatser præsenteres, er det væsentligt at fastholde, at ideen om at sammenligne et teoretisk beregnet besparelspotential med de reelt opnåede målte besparelser, som ligger til grund for disse opgørelser, er problematisk. Forskellen mellem en teoretisk og en reel besparelse kan ikke angives med procentsatser, som kan forventes at sum-

mere op til 100 %, for på denne måde at forklare hele forskellen. En væsentlig del af forklaringen på forskellen er, at de teoretiske beregninger ikke er egnede til at forudsige det reelle forbrug og de reelle besparelser.

En anbefaling er derfor, at de teoretiske beregninger bør udvikles til bedre at kunne forudsige det reelle forbrug. Hvis man ønsker dette, skal man være klar over, at resultatet vil blive, at estimater for beboeradfærd skal indgå i modellerne, og disse beregninger kan således ikke bruges til at identificere en rent teknisk energieffektivitet for bygninger. Det anbefales, at der i fremtiden både arbejdes med rent teknisk beregnet energieffektivitet for boliger, til brug for en objektivt teknisk sammenligning af disse. Det anbefales også, at der udvikles bedre modeller for at forudsige reelle besparelser for konkrete bygningssager og for nationale potentialer. Endelig anbefales det, at der i byggesektoren bliver formidlet en bedre forståelse af forskellen mellem tekniske beregnede besparelser og reelt målte forbrug og besparelser.

Hvad kan mere gøres for at begrænse boligens energiforbrug?

Forhold omkring varmtvandsforbrug og opvarmning af større areal i boligen samt udvidet fyringssæson vurderes til at være spørgsmål, der ikke udelukkende knytter sig til renovering af boliger, men til energibesparelser i boligsektoren i det hele taget.

Hvor stort et realistisk besparelspotentiale der er for danske boliger, hænger uløseligt sammen med den måde boligerne bruges på af beboerne, herunder hvor store arealer, der opvarmes og til hvor høje temperaturer. Boligarealet per person i Danmark har været støt stigende i de sidste årtier, og der er meget, der tyder på, at de temperaturer, der holdes indendørs ligeledes er stigende. Hvad der er et rimeligt areal at opvarme, og hvad der er en passende temperatur at have, er et individuelt spørgsmål. Det er også et spørgsmål, der hænger sammen med normer og værdier for, hvad der opleves som det gode liv. Der er for tiden stor opmærksomhed i befolkningen omkring klimaproblemstillinger og til en vis grad også omkring, hvad den enkelte kan gøre for at begrænse sit eget klimaaftryk. Boligers energiforbrug står for en stor del af det samlede energiforbrug, og det kan være vigtigt at hjælpe borgerne til at forstå, at energieffektivisering af boliger kun er en af flere mulige veje til at sænke deres forbrug. Hvis man har en stor bolig til få personer, kan det at varme dele af boligen mindre op end andre dele bidrage med relevante besparelser.

Internationalt er der en voksende forståelse af det, der kaldes sufficiency, som er spørgsmål om hvornår noget er nok. Det handler ikke om at lide af savn, herunder at have usunde forhold i boliger, men om at være åben for, at mere og større ikke altid er bedre. Energipolitik i forhold til sufficiency kan handle om at italesætte, at energieffektivisering alene ikke kan bidrage til at begrænse forbruget i det omfang, der kræves, og politik kan bidrage til, at det er muligt og attraktivt at finde boliger, som er passende, også til de mindre husstandsstørrelser, som der bliver stadigt flere af.

1 Introduktion

Da bygningers energiforbrug tegner sig for op mod en tredjedel af Danmarks samlede energiforbrug, er det en væsentlig faktor, når regeringens målsætning om 70 % reduktion af drivhusgasser inden år 2030 skal nås. Energistyrelsen har på denne baggrund tidligere bestilt en rapport fra SBI, der har vurderet potentialet for varmebesparelser i den eksisterende bygningsmasse (Wittchen et al., 2017). Det tekniske potentiale for varmebesparelser er i denne rapport angivet til ca. 30 %. Rapporten beskriver imidlertid, at den anvendte metode i analysen ikke tager højde for eventuelle ændringer i beboernes vaner. Dette forbehold skal ses i lyset af, at anden forskning netop har vist, at ændringer i beboernes vaner kan have stor betydning for realiseringen af det tekniske potentiale for varmebesparelser (Gram-Hanssen and Hansen, 2016). Nærværende rapport skal ses på denne baggrund. For at nå den politiske målsætning om reduktion af drivhusgasser er bygningers energiforbrug centralt. Det er derfor vigtigt at vide, hvor store energibesparelser det er realistisk at opnå i bygningssektoren, når der også tages højde for beboernes vaner, samt hvilke muligheder der er for at påvirke denne faktor. Desuden er det vigtigt at være opmærksom på eventuelle andre faktorer, som påvirker de opnåede energibesparelser i bygninger efter renoveringer.

Problemstillingen er ikke i sig selv ny. Derimod er det nyt, at man fra Energistyrelsens side ønsker at vurdere muligheden for at inddrage viden om denne problematik mere direkte i politikformulering. I lyset af dette, bliver den stillede opgave en kombination af at formidle eksisterende viden på området samt at bidrage med ny kvantificeret viden i forhold til nogle mere konkrete spørgsmål om beboernes ændrede vaner efter renoveringer.

1.1 Forskningens udfordringer og begrænsninger

At undersøge beboernes påvirkning af de opnåede energibesparelser efter renovering er vanskeligt, da renovering af boliger kun sjældent igangsættes som en planlagt del af et forskningsprojekt. Desuden er omfattende måleprogrammer af temperaturer og luftskifte dyre, og de er svære at gennemføre i store repræsentative undersøgelser.

Den ideelle undersøgelse af problemstillingen ville inkludere:

- Et stort og repræsentativt antal boliger af forskellige typer, der skulle renoveres.
- Detaljerede målinger af temperaturer, luftskifte, rumopvarmning og forbrug af varmt vand i en længere periode både før og efter en renovering.
- Tekniske teoretiske beregninger af energiforbrug før og efter renoveringen. Til sammenligning med reelle forbrug før og efter renovering og til beregning af det teknisk beregnede besparelsespotentiale
- Detaljerede interviews og spørgeskemaundersøgelser med beboerne om deres vaner og brug af boligen – både før og efter renovering.
- At der i perioden før og efter renovering, hvor forbrug og vaner sammenlignes, *ikke* sker andre ændringer i beboersammensætningen i de pågældende ejendomme og i energipriser m.m.

Hidtidige undersøgelser bygger derfor enten på mindre case studier, hvor et begrænset antal boliger følges, eller på større analyser af registerdata, som

er repræsentative, men ikke inkluderer de ønskede måledata eller før- og efteroplysninger om beboernes adfærd.

Nærværende undersøgelse står i samme situation. Vi skal inden for et begrænset budget og tidsramme give de bedst mulige svar på den stillede opgave. Dette giver ikke mulighed for at igangsætte nye undersøgelser med før og eftermålinger af faktiske renoveringsprojekter. Vi har derfor valgt at gribe opgaven an på en anden måde, som kort vil blive introduceret her.

1.2 Rapportens opbygning og metodevalg

For det første, og i overensstemmelse med opgaven som den var formuleret fra Energistyrelsens side, startes der med et litteraturstudie, som opsamler erfaringer fra hidtidige projekter og studier. På denne baggrund igangsættes nye analyser.

I analyser af den danske boligsektor er det væsentligt at skelne mellem forskellige typer af boliger i forhold til både bygningstype og ejerforhold. Ejerformer inkluderer ejerbolig, andelsbolig, privat udlejning samt almene boliger. Bygningstyper inkluderer enfamiliehuse, landejendomme, dobbelthuse, tæt-lav bebyggelser, rækkehuse og etageboliger.

I forhold til den her stillede opgave er det væsentligt dels at fokusere på a) de bygningsformer og ejerforhold, som repræsenterer de største potentialer for energibesparelser, og b) at inkludere forskellige boligtyper for at undersøge forskelle og ligheder imellem bygningstyperne:

a) Parcelhuse repræsenterer det største potentiale for energibesparelser (Wittchen et al., 2017). Dels fordi det er den mest udbredte boligform, og dels fordi det er en energiforbrugende boligform, som følge af boligernes størrelse, og det at de er fritliggende. På den baggrund er det valgt, at analyserne skal inkludere et særskilt fokus på parcelhuse.

b) For også at inkludere andre boligtyper laves der også undersøgelser inden for forskellige former for etageejendomme. Disse vælges så de så vidt muligt afspejler variationen i etageboliger i forhold til byggeår og ejerform.

1.3 Brug af spørgeskemadata og kvalitative interviews

Analyserne af parcelhuse og etageejendomme baserer sig på forskellige metoder og data.

For parcelhusene bruger vi en spørgeskemaundersøgelse, der er gennemført i 2016 blandt parcelhusejere, i forstæder til Århus, i forbindelse med forskningsprojektet UserTEC¹. Denne spørgeskemaundersøgelse anses for at være velegnet, fordi den inkluderer både detaljerede varmekonsumsdata og detaljerede spørgsmål omkring beboernes vaner. Desuden har den høj svarprocent og god repræsentativitet. Spørgeskemaundersøgelsen omhandler imidlertid ikke før og efter en renovering af parcelhuse. Data bruges derfor i stedet til at sammenligne huse, der er renoverede og huse, der ikke er renoverede. Vi kan således ikke analysere, hvad der sker i den enkelte husstand med hensyn til energiforbrug eller adfærd før og efter den enkelte renovering. Men på tværs af et stort antal boliger kan vi for sammenlignelige boliger se, om de beboere, der har renoveret har andre vaner end de beboere, der ikke har renoveret.

¹ UserTEC var et 5-årigt forskningsprojekt ledet af Kirsten Gram-Hanssen ved SBI. Projektet var støttet med 17 mill kr fra Innovationsfonden. Se <https://www.usertec.aau.dk/>

Ved analysen af etageboliger bruges der en anden metode. Her starter vi med at undersøge, hvilke nyere renoveringsprojekter, der har før- og eftermålinger af energiforbrug. Et antal cases udvælges på denne baggrund, og målingerne suppleres med uddybende interviews med bygningsansvarlige og beboere. Disse interviews fokuserer på årsagerne til eventuelle ændringer i det reelle forbrug.

På baggrund af analyserne af henholdsvis parcelhuse og etageboliger samt det indledende litteraturstudie, vil den sidste del af rapporten svare på de mere konkrete spørgsmål, som Energistyrelsen har stillet. Disse spørgsmål efterspørger en kvantificering af, hvilken betydning forskellige typer af ændret beboeradfærd har for opnåede energibesparelser i forbindelse med renovering af bygninger. Desuden efterspørges anbefalinger til, hvad der kan gøres for at imødegå ændringer i beboeradfærd samt et bud på, hvilke besparelser, der er realistiske at opnå samlet set.

På denne baggrund er det resterende af rapporten inddelt i følgende fire kapitler:

- Kapitel 2. Litteraturstudie
- Kapitel 3. Analyser af enfamiliehuse på baggrund af spørgeskemaundersøgelse og reelt varmekonsum
- Kapitel 4. Analyser af etageboliger på baggrund af tidligere måleprojekter
- Kapitel 5. En kvantificering og kvalificering af det realistiske potentiale for besparelser.

2 Litteraturstudie

2.1 Metode i litteraturstudiet og opbygning af kapitlet

Det gennemførte litteraturstudie tager udgangspunkt i den viden SBI har, efter at have arbejdet med området i mange år, og dermed også i den litteratur vi har kendskab til fra både SBI's egen forskning og fra vores internationale forskningssamarbejde. Herudover inddrages den litteratur, der er foreslået af Energistyrelsen i deres oplæg til opgaven. Endelig er der lavet en egentlig litteratursøgning på søgemaskinen SCOPUS. Her har vi søgt forskning publiceret inden for området, i løbet af de seneste 5 år, for at sikre at ingen nyere væsentlige studier bliver overset. I den internationale litteratur bruges ofte begreber som "rebound effekt", "prebound effekt" og "performance gap" til at beskrive specifikke fænomener inden for området. Der er ikke altid klarhed over, hvordan begreberne skal forstås og vi har i denne rapport, efter aftale med Energistyrelsen, undladt at bruge disse begreber. Kapitlet afsluttes dog med at referere til nogle af de internationale hovedtekster, der findes på området, og herunder introduceres begreberne.

Kapitlet opsummerer studier på området, diskuterer de anvendte metoder, og så vidt muligt kvantificeres resultaterne. Som nævnt i indledningen, er der tale om en kompleks problemstilling, og ingen studier har kunnet give et endegyldigt og entydigt svar eller kvantificering. De fundne resultater og de usikkerheder som studierne har, skal derfor ses i dette lys.

Sammenskrivningen og præsentationen af litteraturen er i det følgende opdelt efter de metoder, studierne bruger. Først præsenteres register- og spørgeskemabaserede studier (afsnit 2.2) og dernæst case-baserede studier (afsnit 2.3). For begge typer af studier lægges der vægt på de danske undersøgelser, men disse vil blive sammenholdt med og suppleret af de internationale studier. Dernæst beskrives oversigtsstudierne (reviews) (afsnit 2.4), og de bruges som optakt til at sammenfatte konklusioner på tværs af forskningsområdet.

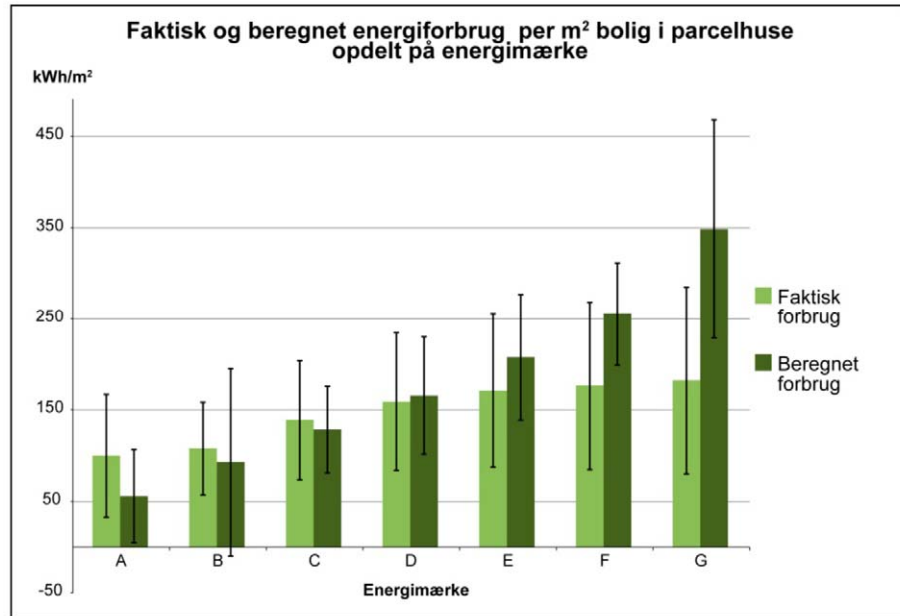
Som afslutning på denne sammenskrivning er indsat en tabel (tabel 2.1) med konkrete, kvantitative angivelser af, hvilke procentdele af den beregnede energibesparelse, der ikke er opnået i forskellige typer renoveringsprojekter.

2.2 Register- og spørgeskemabaserede studier

2.2.1 Danske registerbaserede studier

Et simpelt sammenligningsstudie fra SBI (Statens Byggeforskningsinstitut), som sammenholder det beregnede og reelle forbrug for forskellige kategorier af energimærkede boliger, bruges til at indlede dette litteraturstudie. Dette studium bruges, fordi hovedfiguren i studiet (figur 2.1) er særdeles illustrativ (Gram-Hanssen and Hansen, 2016). Figur 2.1 viser således, hvordan det beregnede energiforbrug i boliger systematisk overvurderer energiforbruget i dårligt isolerede boliger, og hvordan det undervurderer energiforbruget i energieffektive boliger. De præcise tal bag figuren, herunder validiteten i energimærkerne, kan diskuteres, og bliver det i også rapporten. Men den generelle tendens til, at de tekniske beregninger fra energimærkerne giver et

systematisk skævt billede af det reelle energiforbrug er, som vi også skal se i de følgende studier, slået fast i mange forskellige typer af projekter.



Figur 2.1: Sammenstilling af reelt og beregnet energiforbrug opdelt på energimærker for parcelhuse. Samplet inkluderer ca. 135.000 parcelhuse med energiforbrugsdata fra år 2012. Kilde (Gram-Hanssen and Hansen, 2016)

Energistyrelsen har gennemført en undersøgelse baseret på en statistisk sammenligning af parcelhuse, der bygger på samme type data som ovenstående, men desuden også supplerer med registerdata om beboerne (Energistyrelsen, 2016). Det endelige sample er på 61.849 huse, og energiforbrugsdata stammer ligeledes fra 2012. Undersøgelsen er en tværsnitsundersøgelse, og den afhængige variabel er det reelle energiforbrug i boligen (baseret på oplysninger om varmekonsum), og den centrale uafhængige variabel er det teknisk beregnede energibehov (som opgjort i energimærkningerne på parcelhusene). Der sammenlignes således ikke reelle forbrug før og efter renovering af de samme huse, men for huse med et beregnet energiforbrug sammenlignes med det reelle forbrug. For hvert parcelhus findes en lang række tekniske oplysninger fra BBR. Det gælder fx husets størrelse og opførelsesår. Fra Danmarks Statistiks registre findes oplysninger om beboerforhold, fx antal beboere, og alderen på beboerne, samt uddannelse og indkomstforhold. Som metodisk usikkerhed nævner forfatterne, at supplerende varmekilder, fx brændeovne og varmepumper m.m., ikke indgår. Der laves dog en forsigtig, skønsmæssig korrektion for brugen af brændeovne. Uden korrektion konkluderer rapporten, at husejerne udnytter 40 % af den teoretiske gevinst ved den bedre energistandard til at få energibesparelser, mens de resterende 60 % går til bedre komfort. Med korrektion for anden opvarmning antages det, at 30 % af besparelsen går til øget komfort. Med andre ord indikerer dette studie, at 40-70 % af den beregnede besparelse reelt opnås (Energistyrelsen, 2016).

Som del af et ph.d.-projekt ved SBI er der ligeledes arbejdet med sammenstilling af energimærkedata samt bygnings- og energiforbrugsdata. Dette studie inddrager dog ikke oplysninger om beboerne (Brøgger, 2019). Til gengæld arbejdes der her med data fra såvel enfamilie- som flerfamiliehuse, og det inkluderer 143.093 danske bygninger. En del af formålet med studiet er at udvikle mere nøjagtige beregninger af det realiserbare varmebesparende potentiale i bygningsmassen. Det undersøges derfor, om de samme antagelser om varmebesparende potentiale kan anvendes på bygninger med forskellige karakteristika, inklusive forskellige termiske standarder. Undersøgel-

sen viser, at beregninger, der alene baserer sig på det tekniske varmebesparende potentiale, overvurderer det varmebesparende potentiale betydeligt. På trods af det samme tekniske varmebesparelsespotentiale i forskellige bygninger, viser undersøgelsen også, at det varmebesparende potentiale i forskellige bygninger med forskellige karakteristika varierer betydeligt. Det indikerer, at det tekniske varmebesparende potentiale bør korrigeres forskelligt for bygninger med forskellige karakteristika (Brøgger et al., 2018). Artiklen fremlægger dog ikke konkrete estimater på størrelsesordenen af, hvor meget der skal korrigeres for de forskellige bygningstyper. I øvrigt listes flere forskellige forklaringer på forskelle i de teknisk beregnede og de reelt realiserede energiforbrug, herunder: utilstrækkelige modellerings- og simuleringsværktøjer, dårlig validering samt antagelser der ikke stemmer overens med den faktiske bygning. (Brøgger et al., 2018, p. 62).

I tolkningen af forskellen mellem beregnede og reelle energiforbrug formodes det ofte, at der er lavere temperaturer i dårligt isolerede boliger. Et relevant spørgsmål er, om der nogle steder holdes så lave temperaturer, eller luftes så lidt ud, at det bliver sundhedsskadeligt. COWI har på opfordring fra Energistyrelsen lavet en registerbaseret analyse af sammenhænge mellem boligers energistandard og forekomsten af sygdomme hos beboerne (COWI, 2016). Data inkluderer 160.000 energimærkede énfamiliehuse og ser på sammenhængen mellem forekomsten af indeklimarelaterede sygdomme og energimærker, idet en boligs energimærke ses som en indikator for boligens indeklima. Analysen inkluderer ikke data om beboernes adfærd. Studiet finder ingen entydige sammenhænge mellem boligstandard og beboernes sygdomsforekomst. Dette angives delvist at hænge sammen med, at der er mange væsentlige faktorer i beboernes sygdomme, som undersøgelsen ikke inkluderer. Undersøgelsen antyder dog, at beboere i boliger med et energimærke i toppen eller bunden af skalaen har lidt mindre kontakt til praktiserende læge end beboere i boliger med energimærker i midten af spektret (COWI, 2016, p. 32). Visse sygdomme i åndedrætsorganerne, astma og allergi, er nogle af de helbredsmæssige udfordringer, der følger med dårlig ventilation i boligerne (COWI 2016, p.10). Imidlertid angives det i rapporten, at vi i Danmark har høj levestandard og byggestandarder, hvorfor færre er ramt af f.eks. kulderelaterede sygdomme (COWI, 2016. p. 10).

2.2.2 Danske spørgeskemabaserede studier

Et studie bestilt af Energistyrelsen og udført af NIRAS har til formål at undersøge, om der er en sammenhæng mellem energistandard og komfort i danske boliger (Niras, 2015). Analysen er gennemført med udgangspunkt i en tidligere Megafon-spørgeundersøgelse, og den omfatter interview med 506 husejere udtrukket fra energiselskabernes database over parcelhusejere, der har fået tilskud til renovering. I undersøgelsen spørges ind til husejernes opfattelser af indeklimaet, og metoden inkluderer, at beboerne bliver bedt om at genkalde sig deres indeklima før energirenoveringen. Der indgår ikke energiforbrug i analysen. Baseret på respondenternes erindringer konkluderer rapporten, at "der er tydelig og systematisk sammenhæng mellem en boligs energistandard og beboernes oplevelse af komfort" (NIRAS, 2015. p.1). Desuden konkluderes det, at 2/3 af de husstande, som har fået forbedret energistandard beskriver, at de har oplevet bedre indeklima, hvorimod altså 1/3 ikke har. Kvaliteten af vinduer og døre har størst effekt på komforten, og det er især det temperaturmæssige indeklima, der opleves bedre efter renoveringen. Der er således ca. 73 % der oplevede bedre indeklima i forhold til varmen i huset efter en energirenovering, og ca. 45 % der oplevede mindre behov for varmt tøj for at holde varmen. Desuden oplevede næsten 50 % mindre behov for temperaturstyring efter renovering, og ca. 20 % af beboerne oplevede, at de måtte åbne vinduer og døre for at undgå for høj temperatur. Der er en svagere, men dog positiv, sammenhæng med, at beboerne

oplever forbedret luftmæssigt indeklima efter renovering. Effekten opleves særligt i form af mindre fugt og dårlig lugt, mindre følelse af indelukkethed samt færre problemer med skimmelsvamp efter en energirenovering. Godt 44 % oplevede også mindre kondens på vinduerne. Boligens alder har betydning for sammenhængen mellem energistandard og indeklima, idet der er størst effekt i boliger fra 1950'erne, hvor de første moderne parcelhuse blev bygget, og mindst effekt i boliger bygget efter 1998. Samlet set, peger særligt resultaterne omkring varmekomfort på, at der må forventes at være en højere temperatur i boligerne efter renoveringen sammenlignet med før renoveringen. Hvor meget højere temperaturen er, eller hvor bevidst et valg det er fra beboernes side at øge temperaturen, kan dog ikke udledes af rapporten.

En spørgeskemabaseret analyse gennemført af SBI som en del af UserTEC-projektet finder tilsvarende, men ud fra en anden metode, at folk der bor i mere energieffektive boliger generelt har mindre varmt tøj på og opfatter at de har højere temperaturer end folk i mindre energieffektive boliger (Hansen et al., 2018). Et repræsentativt udsnit af parcelhusejere i Århus (n=1216) er blevet spurgt om deres komfortadfærd, og dette er sammenholdt med energistandarden af den bolig de bor i samt socioøkonomiske data om beboerne. Undersøgelsen spørger ikke til komfortadfærd før og efter en renovering, men analyserne sammenligner komfortadfærd i renoverede eller nyere huse med komfortadfærd i ældre ikke-renoverede huse. Analyserne viser, at hvis man har gulvvarme, regulerer man markant mindre på varmen, end hvis man har radiatoropvarmning. Hvis man bor i huse der er mindre energieffektive, holder man generelt en lavere temperatur, tager varmere tøj på og regulerer mere på varmen. Disse forskelle i komfortadfærd bliver dog også modereret af beboernes socioøkonomi. Særligt spørgsmålet om, hvor varmt tøj man har på inden døre varierer med køn og uddannelse, idet henholdsvis kvinder og højere uddannede angiver at have varmere tøj på end mænd og lavere uddannede. I artiklen indgår der ikke energiforbrugsdata, men den samme spørgeskemaundersøgelse vil blive brugt til analyser i næste kapitel af denne rapport, hvor der også kobles energiforbrugsdata på.

SBI har gennemført casestudier blandt en række almene bebyggelser, som er blevet energirenoveret. For hver bebyggelse er der gennemført spørgeskemaundersøgelser med fokus på, at få beboernes vurdering af indeklimaet i deres nyligt renoverede boliger i den almene boligsektor. Samtidigt er der viden om bebyggelsernes samlede energiforbrug før og efter renoveringen. Den ene undersøgelse ser på Albertslund Syd og Vapnagaard i Helsingør (Knudsen and Jensen, 2015). Her er en survey udsendt blandt 1426 husholdninger med besvarelsesprocent på omkring 20 %, som tegner et billede af, at beboerne generelt er mere tilfredse med deres indeklima efter renoveringen end før. Særligt fremhæves, at de ikke længere har problemer med træk, for lave temperaturer og for lidt dagslys. Tilfredsheden er størst i Albertslund, hvor renoveringen også er mest omfattende. Spørgsmålet om, hvorvidt beboerne har ændret adfærd efter renoveringen giver et lidt blandet svar. I forhold til udluftning siger hovedparten (76 %), at de ikke har ændret adfærd. Særligt for renoveringen i Albertslund er dette relevant, idet bygningen har fået mekanisk ventilation med varmegenvinding, og for at opnå energibesparelsen fra dette kræver det, at beboerne ændre adfærd i form af at lufte mindre ud ved at åbne vinduer. Mht. temperaturer siger ca. halvdelen, at de ikke har ændret vaner, og blandt de der mener, de har ændret vaner, siger nogle, at de har højere temperatur nu og andre at de har lavere. I forhold til energiforbrug var Albertslund den mest ambitiøse renovering, idet målet var at nå 2010 energiklassen på 54,2 kWh/m² med et udgangspunkt på reelle energiforbrug på 140-150 kWh/m². Det lykkedes at reducere forbruget med mere end 50 % til 70 kWh/m², men altså ikke at komme ned på 2010-standard. I Vapnagaard opnåede de energibesparelser i to omgange på henholdsvis 21 % og 16 %. Rapporten nævner ikke noget om,

hvad eventuelle teoretiske beregninger forud for renoveringen angav af forventede besparelser, så det reelle forbrug efter renovering kan således ikke sammenholdes med et beregnet.

Den anden SBI-undersøgelse ser på Traneparken i Lejre kommune med en tilsvarende type analyse (Knudsen et al., 2015). Resultaterne fra en survey blandt 65 beboere, hvoraf 25 har svaret, viser, at beboerne oplever en forbedring af deres indeklima, særligt i forhold til træk og for lave temperaturer. Af de 25 siger ca. halvdelen, at de ikke har ændret deres temperaturregulering. Blandt de der har ændret den, siger 10 at de sætter deres temperatur højere og 3 at de sætter den lavere. Hvis dette sammenholdes med at 18 personer angiver, at de havde det for koldt før renoveringen og ingen angiver, at de har det for koldt efter renoveringen, så fremkommer der et billede af, at indetemperaturen formodentlig er højere efter renoveringen af bygningen, men at dette ikke kun skyldes, at beboerne har ændret adfærd i styringen af varme, men også at bygningen efter renoveringen kan levere en højere temperatur end den kunne før renoveringen.

Da disse spørgeskemabaserede analyser ikke er knyttet direkte til energiforbrug før og efter, kan de ikke sige noget direkte om, hvorfor det tekniske potentiale for energibesparelser ikke nås ved energirenovering. De kan dog supplere de registerbaserede analyser, som fastslår problemstillingen, ved at give uddybende forklaringer på, hvad der sker i boligerne, når besparelserne ikke opnås. Tilsammen peger studierne særligt på, at der opleves bedre indendørskomfort og temperaturforhold i energieffektive boliger i forhold til mindre energieffektive boliger, men også at det ikke nødvendigvis er et bevidst valg fra beboernes side at skrue op for varmen. Desuden peger analyserne på, at udluftningsvaner ikke forandrer sig meget i forhold til, hvilken type bolig man bor i. Dette er energibesparelsmæssigt et problem, idet renoverede boliger, som har fået mekanisk ventilation, ikke bør udluftes ved at åbne vinduer.

2.2.3 Internationale registerbaserede studier

Blandt internationale registerbaserede studier, der handler om diskrepansen mellem beregnede og reelle energiforbrug i forbindelse med renovering af boliger, er der særligt to forskningsgrupper, der gør sig bemærket. Det gælder dels gruppen på Delft Universitet ledet af Henk Visscher og dels samarbejdet mellem Ray Galvin og Minna Sunnika-Blank der begge er knyttet til Cambridge universitet. Disse studier omhandler data fra henholdsvis Holland og Tyskland/UK, dvs. lande som i byggestil og klima ikke er så forskellige fra danske forhold, så de også af den grund er relevante at inkludere i denne rapport. Begge grupper har en omfattende publicering inden for dette område, men der er her, for overskuelighedens skyld, valgt kun at medtage få væsentlige studier fra hver gruppe.

Et studie der sammenligner beregnet og reelt forbrug for godt 200.000 etageboliger og rækkehuse i Holland med energimærke, viser at bygninger med dårligt energimærke bruger væsentligt mindre energi end beregnet, hvorimod bygninger med et godt energimærke bruger væsentligt mere (Majcen et al., 2013). Det er således interessant, at det billede vi ser for danske parcelhuse i figur 2.1, modsvares af et stort set identisk billede for etageboliger og rækkehuse i Holland. Der er altså tale om en tendens som går på tværs af bygningstyper og nationaliteter. I denne artikel peger forfatterne på, at det er et problem, at det europæiske EPBD, og tilsvarende nationale direktiver for bygningers energiforbrug, primært tager udgangspunkt i det teoretiske forbrug fremfor at forholde sig til det reelle målte forbrug.

I et nyere studie fra samme forskningsgruppe arbejder de med registerdata, der indeholder energiforbrugsdata for bygninger før og efter renovering, samt oplysninger om type af renovering. Ved kun at inkludere bygninger,

som er beboet af de samme personer før og efter renoveringen undersøges det, hvilke typer af renoveringer og typer af beboere, hvor der er større eller mindre forskel mellem forventet og realiseret besparelse (P. van den Brom et al., 2019a). Studiet viser, at beboere med lavere indtægt sparer mindre ved samme type renovering end andre. Artiklen angiver, at det kan hænge sammen med at folk med lavere indkomster er mere villige til at have lavere temperaturer i ikke-effektive bygninger end folk med højere indtægter. Denne gruppe kan derfor antages at omsætte en større del af energibesparelsen fra renovering til øget temperaturkomfort end tilfældet er for andre indkomstgrupper. Desuden konkluderes det, at der ikke kan peges på hvilke typer af renoveringer, der giver mindst forskel mellem beregnet og reel besparelse. De kan derimod sige, at såkaldt dybe renoveringer, som inkluderer flere samtidige tiltag, i højere grad end for enkelt tiltag giver en mindre besparelse end forventet. Samlet set giver de dybe renoveringer dog stadig større besparelser end de enkeltstående. Forfatterne angiver, at deres resultater kan bruges til at lave bedre forudsigelser i forhold til forventede besparelser til glæde for boligejere, boligorganisationer og politikere. Et andet nyere paper baseret på sammen data (P. van den Brom et al., 2019b) viser endvidere en forskel mellem bygningstyper. Analyser viser, at renoveringer af etageboliger og rækkehuse forholdsmæssigt giver lavere besparelser end forventet, når bygningsinstallationer forbedres, mens renoveringer af enfamiliehuse forholdsmæssigt giver lavere energibesparelser end forventet, når klimaskærmen forbedres.

Analyser af 3400 boliger i Tyskland sammenholder ligeledes reelle forbrug med det teoretisk beregnede for bygninger, der kunne overvejes at renovere (Sunikka-Blank and Galvin, 2012). Studiet kritiserer tyske regler, der ligesom de danske bruger teoretiske beregninger som udgangspunkt for at stille krav om energieffektiviseringer ved renovering af eksisterende bygninger, idet de teoretiske beregninger giver misvisende resultater i forhold til økonomisk rentabilitet, og dermed potentielt overser andre mere effektive indsatser omkring beboeradfærd. Øvrige artikler fra disse forfattere introduceres under de mere generelle studier nedenfor.

Et Tysk studie inkluderer ligeledes registerbaserede data til at analysere den faktiske effekt af energirenoveringer (Niemierko et al., 2019). Baseret på et historisk og repræsentativt dataset bestående af 25.000 huse opstilles en model, der forudser effekten af energirenoveringer og sammenholder denne med de forventede besparelser. Analysen tager højde for forskellige og typiske karakteristika af huse, hvorimod de ikke medtager socio-demografiske faktorer. Analysen konkluderer bl.a., at for husholdninger, der enten har haft meget høje eller meget lave energiforbrug før renovering, er der større chance for, at det reelle forbrug efter renovering vil være væsentligt højere end forventet. Desuden konkluderer studiet, i overensstemmelse med den øvrige litteratur, at energiforbruget i energieffektive bygninger systematisk undervurderes, mens det overvurderes i energiineffektive bygninger.

2.3 Casebaserede studier

2.3.1 Danske casebaserede studier

På opdrag fra Bygningsstyrelsen har NIRAS gennemført et studie af energirenovering af forskellige typer af bygninger: enfamiliehuse, private og almene etageboliger, offentlige bygninger samt erhvervsbygninger (NIRAS, 2013). Analysen har bl.a. set på, hvorvidt de gennemførte energirenoveringer fører til de forventede energibesparelser. Analysen bygger på data fra forskellige energirenoveringsprojekter. NIRAS påpeger selv, at analysen har været vanskelig, idet datagrundlaget er begrænset og af varierende kvalitet. Der findes ikke mange renoveringsprojekter med valide før- og eftermålinger

af energiforbrug. Det følgende konkluderer for de to boligsegmenter. *Enfamiliehuse*: Pga. manglende data var det kun muligt at vurdere energibesparelser for 6 huse ud af 21 deltagende. Disse huse viser en gennemsnitlig varmebesparelse på 6 %, med variation fra - 11 % til + 18 %. NIRAS noterer: "Det er de færreste husejere, der har kvalificeret viden om den forventede energibesparelse og i øvrigt kan oplyse deres energiforbrug før renoveringen" (NIRAS, 2013, p. 6). Som forklaring på de forholdsvis lave varmebesparelser nævnes: bedre indeklima, herunder temperaturændringer, ændrede levesituationer samt anderledes brug af huset (NIRAS 2013, p.7). For private og almene etageboliger ses ligeledes sparsomme data. Her er der i alt 16 bygninger inddraget, hvor 5 undergik dybe renoveringer og 11 lettere renoveringer. Der er her en forventet varmeenergibesparelse på 17 %, hvor der gennemsnitligt kun opnås en varmebesparelse på 8 %, med variation fra -39 % til +18 %. Årsagerne der nævnes her inkluderer ændrede forbrugsmønstre. Baseret på erfaringer opsamlet på tværs af energirenoveringsprojekterne, vurderer rapporten, at væsentlige faktorer der spiller ind ift. forskellen mellem de teknisk beregnede og realiserede energibesparelser inkluderer:

- Beregningerne af den forventede energibesparelse er for optimistiske. Det skyldes bl.a. at forudsætninger om luftskifte og indetemperatur ikke svarer til virkeligheden. Herudover tager beregninger som regel ikke højde for bygningstype og brug, at enkelte energioptimeringstiltag påvirker hinanden, husets aktuelle renoveringsbehov, før-forbrug – eller ændrede forhold i husene efter renoveringen.
- Mangelfuld indregulering, idriftsætning og energistyring (manglende commissioning²) af varme- og ventilationsanlæg. Især i større bygninger med komplicerede anlæg.
- Bygningen får forbedret indeklima efter renoveringen, hvorimod beregningerne forudsætter uændrede temperaturer og luftskifte. Det kan handle om f.eks. højere gennemsnitstemperaturer efter energirenoveringen, luftfugtighed og luftgennemstrømning. Dette afhænger dog meget af forholdene før renoveringen.
- Ændret beboeradfærd og anvendelse af bygningerne – nogle gange planlagt og nogle gange som følge af, at visse bygningsarealer er blevet mere attraktive.
- Fejlregninger i projektering og udførelse af projektet, ændringer undervejs samt manglende opfølgning på energioptimeringen (NIRAS 2013, p. 101-104)

Et lidt anderledes projekt – idet det drejer sig om udskiftning af varmekilde fremfor energirenovering – er et studie der følger elforbruget i enfamiliehuse og sommerhuse før og efter installation af en luft-til-luft varmepumpe (Gram-Hanssen et al., 2012). Projektet inkluderer spørgeskema blandt 2793 husstande med en svarprocent på 25 %. Disse besvarelser er linket til reelt elforbrug over en periode på 9 år, således at der for hver husstand er flere års forbrug før og efter installation af varmepumpe. Det samlede sample med både besvarelser og el-data resulterede i 180 husstande, hvoraf 42 er sommerhuse. Blandt disse er desuden udvalgt 12 husstande til kvalitative interview. Studiet konkluderer, at ca. 20 % af den forventede besparelse ved energieffektiviseringen i helårsboligerne bliver omsat til øget komfort i form af højere indetemperaturer, længere fyringssæson og større opvarmet areal. Blandt sommerhusene indikerer undersøgelsen, at ændret adfærd i form af at gå fra tidligere at have lukket sommerhuset ned for vinteren og til at holde det opvarmet året rundt på et lavt niveau kan betyde, at der slet ingen besparelse opnås eller decideret opnås større forbrug.

² Commissioning er en proces, der verificerer, dokumenterer og tester, at et byggeri opfylder de specificerede krav

Ud over de her nævnte casebaserede studier er der en række veldokumenterede projekter, hvor større ejendomme er blevet renoveret, samtidig med at der er opsamlet data fra før og efter renovering. Disse projekter indgår i kapitel 4, hvor der bliver givet en oversigt over de bedst dokumenterede nyere renoveringsprojekter, og på baggrund af denne oversigt vælges studier ud til nærmere analyse.

2.3.2 Internationale casebaserede studier

Et norsk studie ser på, hvordan introduktionen af en ny opvarmningskilde, en luft-til-luft varmepumpe, påvirker den måde boligen opvarmes på (Winther and Wilhite, 2015). Studiet omfatter 28 kvalitative interview, men ikke før- og eftermålinger af energiforbrug. Artiklen identificerer to forskellige måder beboerne ændrer deres opvarmning på. Den første er, at folk udvider det tidsrum i hvilket hjemmet er opvarmet, dvs. enten længden af varmesæsonen over året og/eller perioden der opvarmes over døgnet. Den anden er, at varmepumpen udvider de opvarmede arealer i huset. Det betyder, at mulige energibesparelser ved installation af varmepumpen kan forsvinde ved den længere tid eller det større areal, der opvarmes. Varmepumpen er desuden en teknologi der favoriserer store, åbne rum og en praksis med åbne døre mellem rummene for at virke mest optimalt. Forfatterne nævner også, at varmepumpens teknologi kan føre til andre brugsmuligheder og goder, så som at tørre tøj foran den (hvilket også kan give øget forbrug) eller at den giver en oplevelse af bedre luftkvalitet.

Et tysk studie har set på energiforbruget i 3 bygninger fra 1950'erne med 30 lejligheder i hver, som er blevet energirenoveret (Cali et al., 2016). Et monitoringsystem muliggør sammenligning mellem det reelle forbrug og det beregnede forventede energiforbrug efter renoveringen. For hver af de tre bygninger er der markante forskelle mellem det beregnede og det reelle forbrug, men dette varierer over årene. Det første år efter renovering steg forbruget fremfor at falde, men senere faldt forbruget, dog blev 40-60 % af den beregnede besparelse fortsat ikke opnået. Forskellen mellem første år, hvor forbruget steg, og efterfølgende år forklares med, at der kom bedre indregulering af energisystemer samt oplysning til beboerne. Forfatterne konkluderer, at beboeradfærd er en af kerneårsagerne til forskellen mellem det reelle og det beregnede energiforbrug, men andre årsager kan være fejl i installationerne eller dårligt fungerende systemer i det hele taget.

Et engelsk studie viser resultaterne af et treårigt eksperiment med 185 relativt velstående husholdninger, som havde fået foretaget renovering af deres huse (Bardsley et al., 2019). Formålet var at vurdere, om adfærdsmæssige interventioner både under og efter energirenoveringerne kunne bidrage til at reducere husholdningernes energiforbrug. Eksperimentet inkluderede en kontrolgruppe, hvor der også blev energirenoveret, men uden adfærdsmæssig intervention. Der var markante reduktioner på varmeforbruget i begge grupper, men ca. 40 % af det teknisk beregnede besparelspotentiale ikke blev nået. Der blev imidlertid ikke observeret nogen signifikant effekt af de adfærdsmæssige interventioner.

2.4 Review samt begrebs- og konceptbaserede studier

I denne rapport undgår vi så vidt muligt at bruge begrebet rebound effekt, men forholder os til det mere konkrete spørgsmål om forskellen mellem det teknisk beregnede potentiale for energibesparelser og den reelt opnåede besparelse efter renovering. Meget af den relevante internationale litteratur på området er imidlertid svær at referere til uden at bruge de anvendte internationale begreber, og vi vil derfor i det følgende kortfattet introducere begreber og hovedresultater af relevans for denne rapport.

Performance gap:

Udtryk for forskel mellem det energiforbrug man beregner teoretisk, og det energiforbrug man måler i virkeligheden. Det er velkendt og velbeskrevet internationalt (Gram-Hanssen and Georg, 2018). Forklaringen hænger bl.a. sammen med, at de teoretiske beregninger sætter nogle standardforudsætninger om temperatur og luftskifte, som skal være de samme i alle beregninger for at kunne sammenligne bygninger, uanset hvordan de bruges. Temperatur og luftskifte har stor betydning for energiforbrug, og det kan medføre en stor forskel på det beregnede forbrug, hvis reelt temperatur og luftskifte er væsentligt forskellige fra de, der indgår i beregningerne.

Prebound effekt:

Udtryk for, at den forskel man ser mellem de teoretiske beregninger for dårligt isolerede boliger og deres reelle forbrug gennemsnitligt set viser, at disse bygninger har et markant lavere forbrug end beregningerne forudser (Sunikka-Blank and Galvin, 2012). Dette forventes bl.a. at hænge sammen med, at der i dårligt isolerede boliger ofte ikke er så høje temperaturer som beregninger forudsætter.

Rebound effekt:

Udtryk for, at hvis energieffektiviteten øges bliver det, man gerne vil opnå med energiforbruget (energiservicen) billigere. Det betyder, at man har mulighed for at få et forøget forbrug af disse services, hvorved energibesparelserne samlet mindskes, men servicen øges. Begrebet er oprindeligt defineret som et økonomisk begreb: man får flere penge, når man sparer pga. højere effektivitet, og derfor kan man bruge mere (Galvin, 2015; Sorrell et al., 2009). I studier af reboundeffekten tages der ofte udgangspunkt i teknisk beregnede forbrug. Det betyder imidlertid, at man risikerer at blande performance gap og preboundeffekten sammen med reboundeffekten. At de tekniske beregninger ikke er gode til at forudsige det reelle forbrug, skal ikke ses som en del af reboundeffekten, men i de konkrete studier er effekterne vanskelige at isolere fra hinanden.

Der argumenteres fra flere sider også for, at man bør gentænke årsagen til reboundeffekten, idet den måske ikke primært er en priseffekt. Det, at man ved, at noget er energieffektivt, kan betyde at man bliver mindre opmærksom på at spare, uden at det er en decideret priseffekt og desuden kan nogle teknologier blive teknisk udfordrende for beboere af forstå (Galvin, 2015, pp. p110-115; Gram-Hanssen and Hansen, 2016). Reboundeffekten fortolkes altså ofte som en adfærdsmæssig forandring, men det er misvisende at se den udelukkende som en rationel reaktion på mindskede varmeomkostninger. Energirenoveringer kan påvirke andre variable, som også påvirker beboeradfærd (fx luftstrømme i boligen), og samlet set er det altså vanskeligt at isolere reboundeffekten (Sorrell et al., 2009, p. 1358).

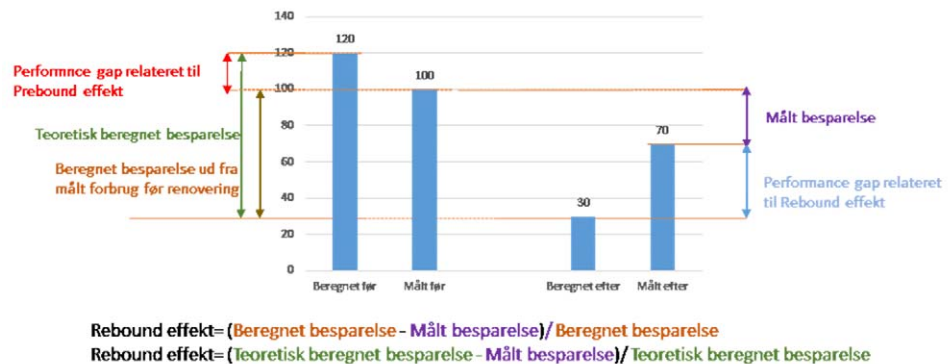
Et internationalt review studie fra 2009 konkluderer, at der i tidligere studier ses mellem 0,14 °C og 1,6 °C højere gennemsnitstemperaturer i husene efter renovering end før renoveringen (Sorrell et al., 2009). Beregnede energibesparelser der mistes qua højere gennemsnitstemperaturer varierer fra 0 %-100 %, men gennemsnittet ligger på omkring 20 %. For lavindkomstgrupper, og for husstande med lavere gennemsnitlige starttemperaturer, synes dette tal højere. Højere gennemsnitstemperaturer forklarer således kun en del af diskrepansen mellem beregnede og realiserede energibesparelser (altså i gennemsnit ca. 20 %), ligesom adfærdssændringer kun forklarer en

del af den højere gennemsnitstemperatur, idet tekniske forbedringer også kan give højere temperaturer. Hvilke af disse faktorer der bedst fortolkes som den direkte rebound effekt kan diskuteres (Sorrel et al. 2009, p. 1361).

Med forbehold for vanskeligheder med at studere reboundeffekten som isoleret fænomen, så viser internationale studier, at når det gælder husholdningers varmeforbrug i europæiske lande, er den gennemsnitlige rebound effekt på mellem 20-50 % i forbindelse med energirenovering af boliger (Galvin, 2015, p. 109).

I forhold til denne rapport er følgende vigtigt at være opmærksom på (se i øvrigt figur 2.2 for uddybning af begreber):

- Både før og efter renovering vil der være forskel på det teoretisk beregnede og det reelle forbrug – det såkaldte performance gap.
- Et teoretisk teknisk beregnet besparelеспotential kan findes som forskellen mellem et teknisk beregnet forbrug før renovering og et teknisk beregnet forbrug efter renovering. Hvis man ønsker et rent udtryk for en teknisk effektivisering er det dette tal, der skal bruges. Man skal dog være opmærksom på, at dette tal vil være langt fra det realistiske.
- Et beregnet potential kan også tage udgangspunkt i det reelle forbrug før renovering og det teknisk beregnede forbrug efter en planlagt renovering. Dette besparelеспotential vil være et mere realistisk potential, men ulemper ved denne metode er, at man blander reelle forbrug og teoretiske beregninger sammen.
- Reboundeffekten kan beregnes med udgangspunkt i såvel den rent teoretiske besparelse som med udgangspunkt i den beregnede besparelse i forhold til reelt forbrug.



Figur 2.2: Illustration af begreberne performance gap, prebound, rebound og deres relation til hinanden, ud fra et tænkt eksempel på beregnet og reelt forbrug før og efter en renovering.

2.5 Sammenfattende konklusioner fra tidligere studier

2.5.1 Hvor stor en andel af besparelsen opnås ikke?

De læste studier fastslår entydigt, at man skal forvente en betydeligt mindre energibesparelse ved energieffektivisering af boliger i forhold til, hvad tekniske beregninger forudsiger. Studierne angiver usikkerheder i den præcise andel. Som det ses i tabel 2.1, er den laveste reduktion af den forventede energibesparelse på 15 %, men dette studie havde ikke eksplicit fokus på at fastlægge, hvor stor en del der ikke blev opnået. De øvrige studier angiver, at det er i størrelsesordenen 20-60 % af den beregnede besparelse, som ikke opnås.

Tabel 2.1: Sammenfatning af studier der opgiver hvor stor en andel af den beregnede energibesparelse som i praksis ikke opnås

Reference	Kontekst	Besparelse der ikke opnås
(Galvin, 2015)	På tværs af lande og boliger	20-50 %
(Energistyrelsen, 2016)	Danske Parcelhuse	30-60 %
(Knudsen and Jensen, 2015)	Albertslund tæt-lav	16 % ³
(NIRAS, 2013)	Etageboliger	53 % ⁴
(Gram-Hanssen et al., 2012)	Varmepumper i parcelhuse	20 %
(Cali et al., 2016)	Tyske lejligheder	50-60 %
(Bardsley et al., 2019)	Velstående UK boliger	40 %

2.5.2 Hvad er årsagerne?

De årsager der i de læste studier angives til at de beregnede besparelser ikke opnås, kan opdeles på en række forskellige faktorer. Der er bred enighed om, på tværs af alle studier, at der ikke er samme indeklima i bygninger før og efter de bliver renoveret. En væsentlig årsag til at renovere er netop ofte at man ønsker at forbedre indeklimaet. Det må derfor forventes, at der er højere temperatur i boligen efter den er renoveret sammenholdt med før. Højere temperatur kan betyde flere ting, herunder at der er længere opvarmningssæson, at der generelt er højere temperatur i boligen, at et større areal i boligen bliver varmet mere op samt at der over døgnet er ensartet højere temperatur (Gram-Hanssen et al., 2012; Winther and Wilhite, 2015). At der er højere temperatur i boligen efter en renovering skal imidlertid ikke udelukkende tolkes som en bevidst handling fra beboernes side. Således angiver beboere i flere tilfælde, at de oplever bedre varmekomfort, men at de ikke har ændret deres opvarmningsadfærd (Knudsen et al., 2015; Knudsen and Jensen, 2015). Den øgede temperatur i renoverede boliger skal således også ses som en direkte teknisk følge af, at varmesystem og bygningskrop leverer en anden komfort end tidligere. Desuden kan de øgede temperaturer ses som en kombination af teknologi og adfærd i den forstand, at ny teknologi implicit lægger op til ændret adfærd. Opvarmning med gulvvarme medfører fx at der reguleres væsentligt mindre på varmen i forhold til opvarmning med radiatorer (Hansen et al., 2018). Dette hænger sammen med, at gulvvarme er væsentligt langsommere om at reagere; der kan således gå mange timer og op til et døgn, fra man har ændret temperaturindstillingerne og til den oplevede komfort har ændret sig. Et andet eksempel på en teknologi, der lægger op til ændret adfærd, er luft-til-luft varmepumper, idet disse fungerer bedst i store åbne rum, og det dermed kan betyde, at der i højere grad holdes døre åbne og opvarmes flere rum, fremfor kun at opvarme efter behov (Winther and Wilhite, 2015). En uddybning af ændrede temperaturer kan også hænge sammen med en ændret brug af boligen efter renovering. Det kan fx dreje sig om, at altaner eller kældre bliver inddraget som en del af det opvarmede areal, og det kan handle om, at der fjernes skillevægge i rum, så det ikke længere er muligt at vælge at opvarme mindre arealer af boligen.

Ændrede temperaturer er dog ikke hele forklaringen på forskellen mellem den forventede energibesparelse og den reelt opnåede. Et reviewstudie angiver fx, at højere temperaturer kan forklare gennemsnitligt 20 % af forskellen (Sorrell et al., 2009), og den resterende andel skal dermed søges i andre forklaringer.

³ Beregning: forventet besparelse 63 % opnået 53 %, $(63-53) / 63 = 0,1587$

⁴ Beregning: forventet besparelse 17 %, opnået 8 %; $(17-8) / 17=0,53$

En yderligere forklaring, der hænger sammen med adfærd, er udluftningsvaner. To forskellige studier viser, at beboerne typisk har samme udluftningsvaner, uafhængig af hvor energieffektiv en bolig de bor i (Hansen et al., 2018; Knudsen and Jensen, 2015). Hvis boligen før renovering har haft naturlig ventilation og efter renovering har fået mekanisk ventilation med varmegenvinding, kan der være et unødvendigt varmetab ved at beboerne fortsat udlufter boligen som før. Ingen af de læste studier har dog angivet, hvor stor en andel af den manglede besparelse, der kan tilskrives dette forhold.

Ud over de forklaringer der i et vist omfang hænger sammen med beboernes komfort og adfærd, så peges der i de læste studier også på andre forklaringer. Det inkluderer en kritik af de redskaber og antagelser, der indgår i beregningen af de forventede energibesparelser (Brøgger et al., 2018; NIRAS, 2013), og det inkluderer, at der særligt i flerfamiliehuse kan være mangelfuld indregulering af ny teknologi (NIRAS, 2013), samt at der kan være fejl i projektering og udførelse af renoveringen af bygningen (NIRAS, 2013).

2.5.3 Hvad varierer forskellene med?

På baggrund af den læste litteratur må det forventes, at der ved alle typer af renoveringer og for alle typer af beboere gælder, at de beregnede besparelser ikke opnås fuldt ud. Der er imidlertid også studier, der interesserer sig for, hvad dette forhold mellem de beregnede og de opnåede besparelser varierer med. Baseret på danske data er det vist, at hvis man skal lave en korrektion af det beregnede forbrug for i højere grad at forudsige den reelt opnåede besparelse ved energirenovering af en bolig, så skal denne korrektion variere fra bygningstype til bygningstype, fx mellem parcelhuse og etageboliger (Brøgger et al., 2018). Studiet er dog ikke nået frem til at foreslå forskellige korrektionsfaktorer for den danske bygningsmasse. Hollandske data peger på, at der i praksis opnås større besparelser for enfamiliehuse sammenlignet med etageboliger, men heller ikke her gives der konkret estimater på reduktioner (P. van den Brom et al., 2019a). Endelig viser hollandske data, at renoveringer af flerfamilieboliger har større forskel mellem forventet og opnået besparelse, når bygningsinstallationer forbedres, mens renoveringer af enfamiliehuse forholdsmæssigt giver større forskel mellem forventet og opnået besparelse, når klimaskærmen forbedres (P. van den Brom et al., 2019b). At installationer i flerfamiliehuse giver forholdsvis mindre besparelse kan hænge sammen med, at det særligt her gælder, at de nye teknologier skal indreguleres for at virke hensigtsmæssigt.

I forhold til den type af renovering der gennemføres, må der også forventes forskelle i, hvor stor en andel af besparelsen der opnås. Flere studier peger på at såkaldte dybe renoveringer, dvs. hvor mange energiforbedringstiltag gennemføres samtidigt, i reelt energiforbrug efter renovering er længere væk fra det forventede end renoveringer der kun inkluderer fx nye vinduer eller efterisolering af tag (NIRAS, 2013; P. van den Brom et al., 2019a). De nævnte studier giver ikke præcise angivelser for, hvor meget større forskellen bliver ved dybe renoveringer. Det skal dog bemærkes, at de dybe renoveringer stadig giver større samlet reel besparelse end enkelttiltagene giver.

Endelig ser det også ud til, at forskellen mellem den forventede besparelse og den reelt opnåede varierer med typen af beboere. På baggrund af hollandske data konkluderes det, at beboere med lave indtægter sparer mindre end andre ved samme renovering (P. van den Brom et al., 2019a). Forklaringen forventes at være, at beboere med lave indtægter i højere grad har sparet på varmen før renoveringen, hvorimod de ikke behøver at spare helt så meget efter en renovering, hvor opvarmningen bliver billigere. Tyske data viser, at beboere, der har haft forholdsvis mindre eller større forbrug før renovering, vil opleve større forskel mellem det beregnede og det reelle forbrug (Niemierko et al., 2019). At et mindre forbrug før renovering kan betyde at besparelsen bliver mindre end forventet, forklares med, at der må forventes

at blive højere temperaturer efter i forhold til før renovering. At husstande med høje temperaturer før renovering også ser ud til at have større forskel mellem forventet og reelt opnået energiforbrug efter en renovering, forklares med at disse beboere tager deres præference for høje temperaturer med, og skruer mere op for varmen end tidligere.

2.5.4 Hvad skal der gøres ved det?

Spørgsmålet om, hvad der kan eller skal gøres ved det forhold at det reelle energiforbrug efter energirenovering af boliger som hovedregel er 20-60 % lavere end det beregnede, har ikke været det centrale for denne gennemlæsning af litteratur. Det følgende vil dog opsamle de konklusioner, der kan uddrages af studierne.

De fleste studier noterer, at der bliver højere varmekomfort og bedre indeklima i boligerne efter renovering. Hvis der er tale om beboere, der tidligere har haft dårligt indeklima og ikke har kunnet opvarme deres bolig tilstrækkeligt, må der forventes at være større forskel mellem det forventede og det reelle energiforbrug. I disse tilfælde er det vigtigt at sammenholde de manglende energibesparelser med en velfærds- og sundhedsdiskussion. En andel af de besparelser, der ikke opnås, hænger således sammen med, hvad der kan betegnes som utilstrækkelige indeklimaforhold før renovering. Hvor stor en andel det drejer sig om, kan der ikke siges noget om ud fra de gennemgængende studier. Hvad der er et velfærds- og sundhedsmæssigt tilstrækkeligt indeklima, er der desuden ingen objektive fastlagte definitioner af. Sundhedsproblemet handler bl.a. om at undgå vækst af skimmelsvamp, hvilket både handler om udluftning og opvarmning. I forhold til bygningers energieffektivitet og sundhed kan det dog konkluderes, at der ikke kunne findes nogen sammenhæng mellem boligers energimærke og beboernes sygdomme i danske parcelhuse (COWI, 2016).

Et andet spørgsmål er, hvad der kan gøres ved den del af den manglende besparelse, som ikke hænger sammen med utilfredsstillende forhold før renovering. Et par af de læste studier kommer ind på spørgsmålet om kommunikation til beboerne omkring og efter renovering. Et studie kommer frem til, at den anvendte metode til kommunikation ikke har nogen effekt i forhold til i højere grad at opnå de forventede besparelser (Bardsley et al., 2019). Derudfra kan ikke konkluderes, at kommunikation aldrig vil have en effekt, og flere af de andre studier tyder da også på, at kommunikation til beboerne i forhold til den helt konkrete renovering der er foregået i deres bolig, kan have en positiv effekt. Et tysk studie, der som udgangspunkt stort set ingen reelle energibesparelser opnåede, viser at efter nogle år kom det reelle forbrug væsentligt længere ned som følge af kommunikation med beboerne (Cali et al., 2016). En del af forklaringen her var dog også at bygningerne manglede at blive rigtigt indreguleret, hvilket andre studier også peger på, som en væsentlig faktor for at opnå de forventede besparelser (NIRAS, 2013).

3. Analyser af enfamiliehuse på baggrund af spørgeskemaundersøgelse og varmemeforbrug

Denne analyse fokuserer på betydningen af renovering for varmemeforbrug i enfamiliehuse ved at bruge data om reelt varmemeforbrug koblet med en spørgeskemaundersøgelse om husstandes renoveringer og adfærd. Analysen sammenligner således ikke samme hus før og efter en renovering, men finder sammenlignelige huse som henholdsvis er renoveret eller ikke er renoveret, og sammenholder henholdsvis energiforbrug og adfærd i boligen.

Analysen har to formål:

1. At undersøge reelle forskelle i husstandes varmemeforbrug mellem renoverede og ikke-renoverede (sammenlignelige) huse, og sammenholde disse forskelle med forventede besparelser ud fra tekniske beregninger.
2. At undersøge forskelle i adfærd mellem renoverede og ikke-renoverede (sammenlignelige) huse.

Disse to formål undersøges i hver sin del, som bygger på de samme data, men med forskellige metoder. Beskrivelse af data kan findes i Bilag 1 og beskrivelse af metode kan findes i Bilag 2. For begge dele gælder det, at renovering henviser til nye vinduer og isolering af loft. Disse to former for renovering er valgt, da de udgør den helt overvejende del af alle renoveringer i datamaterialet, og øvrige renoveringer er sorteret fra, da de viste sig at udgøre for lille en del til at bære en selvstændig analyse. De spørgsmål, som besvarelserne omkring renoveringerne blev baseret på, kan findes i Bilag 3.

Alle analyser bygger på data for et repræsentativt udsnit af parcelhuse i forstæder til Aarhus. Da der i denne rapport ønskes resultater, der er repræsentative for alle Danmarks parcelhuse, vil der i tredje del af kapitlet blive vurderet og skaleret til landsdækkende tal.

3.1 Reelle forskelle i varmemeforbrug mellem renoverede og ikke renoverede (sammenlignelige) huse

For at undersøge reelle forskelle i varmemeforbrug mellem renoverede og ikke-renoverede huse benyttede vi to forskellige tilgange til at identificere sammenlignelige huse.

Det optimale analytiske design ville, som beskrevet i indledningen, sammenligne målinger for den samme husstand i det samme hus før og efter en renovering. Denne mulighed var imidlertid ikke tilstede for et stort repræsentativt udsnit af parcelhuse. Derfor forsøgte det på to måder at "efterligne" det optimale design ved hjælp af forskellige statistiske metoder, og derigennem undersøge sammenlignelige observationer.

- 1) **Gruppering:** Ved klyngeanalyse (cluster analysis) baseret på betydningsfulde bygningsparametre identificerede vi grupper af huse, som lignede hinanden.
- 2) **Modellering:** Ved regressionsmodeller estimerede vi forskelle i varmemeforbrug, hvor der blev kontrolleret for relevante parametre.

Begge tilgange blev benyttet efter en indledende gruppering ud fra byggeår i tre overordnede grupper af huse. Grupperingerne er begrundet i betydningsfulde ændringer i bygningsreglementet i forhold til energieffektivitet af huse

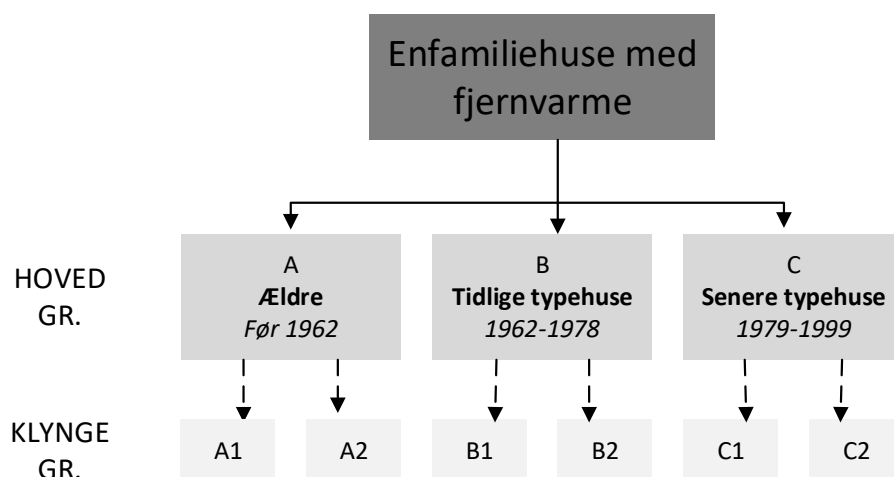
(se for eksempel (Marsh et al., 2010)), og er også benyttet i tidligere studier (fx Hansen et al., 2019, 2018; Paula van den Brom et al., 2019). De tre hovedgrupper er (antal i parentes⁵):

- A) Ældre huse bygget før 1962 (N=269)
- B) Typehuse bygget fra 1962 til 1978 (N=520)
- C) Typehuse bygget fra 1979 til 1999 (N=211)

De nyeste huse bygget efter 1999 (N=148) blev fjernet fra analysen, da der var få af disse, som havde foretaget renoveringer, hvilket ville gøre det svært, om ikke umuligt, at undersøge betydningen af renoveringen.

3.1.1 Gruppering (klyngeanalyse)

Grupperingstilgangen baserede sig på den indledende inddeling i tre hovedgrupper, hvor næste trin blev yderligere at inddele husene i to grupper, som ligner hinanden mere på en række udvalgte parametre⁶. Dette trin havde således til formål på en smart måde at skabe nye grupper med mere sammenlignelige eller mere ens huse. Vi bestemte ikke hvilke parametre, der skulle være mere vigtige end andre, men i stedet lod vi klyngeanalysen, bestemme dette på baggrund af mønstre i data. Strukturen er illustreret ved figur 3.1.



Figur 3.1. Fremgangsmåde i grupperingsmetoden

Inden for hver gruppe i hvert trin har vi sammenlignet varmemeforbruget mellem huse der er renoverede og ikke renoverede. Beskrivelserne af tabellerne kan findes i Bilag 4, og er opsummeret i del 3.3.

3.1.2 Modellering (regressionsanalyse)

Modelleringstilgangen var baseret på regressionsanalyser inden for hver af hovedgrupperne (A, B og C). I disse regressionsmodeller, som findes i Bilag 5, var det muligt at undersøge begge renoveringer på samme tid, samt at kontrollere for bygningskarakteristika og antallet af beboere i husstanden. Denne metode underbyggede i høj grad resultaterne fra grupperingsmetoden. Blandt andet viste den en klar og stor forskel i varmemeforbruget mellem huse med og uden nye vinduer i hovedgruppe A, samt klare forskelle for både nye vinduer og efterisoleret loft for hovedgruppe B.

⁵ Antal observationer vil være lidt forskellig for modellerne på grund af manglende oplysninger på andre variable.

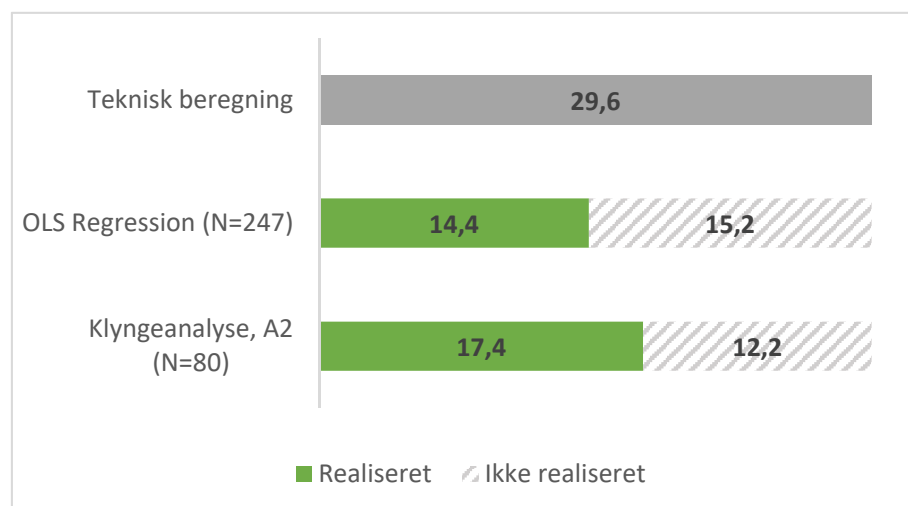
⁶ Parametrene var boligstørrelse (m²), antal rum, brændeovn (1=Ja, 0=Nej), kælder (1=Ja, 0=Nej), tagetage (1=Ja, 0=Nej), tagdækningsmateriale (1=Fibercement, 2=Cementsten, 3=Tegl, 4=Andet), ydervægsmateriale (1=Mursten, 0=Andet). Disse var udvalgt ud fra de mulige oplysninger fra registerdata, samt hvad der formodes at have betydning for forskelle i husstandes varmemeforbrug.

3.1.3 Sammenligning med tekniske beregninger

På baggrund af de reelle forskelle, som blev fundet ved hjælp af grupperings- og modelleringsmetoderne, så sammenlignede vi også disse med tekniske beregninger for estimerede forskelle i energiforbrug. De tekniske beregninger blev baseret på skøn, da disse varierer alt efter typen af hus (beskrevet nærmere i Bilag 6).

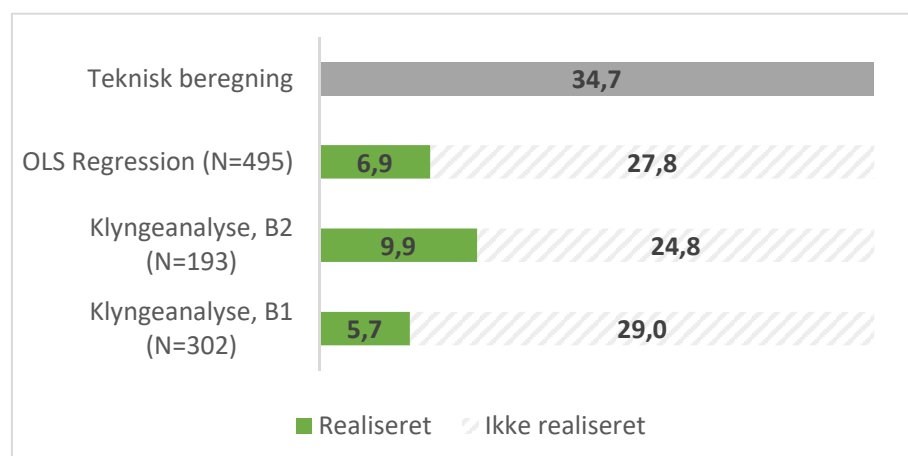
Herunder summeres de resultater, der er størst sikkerhed for at sige noget om. For de ældre huse (gruppe A) er der signifikante resultater for nye vinduer, men ikke for efterisolering af loft. For huse bygget i 1962-1979 (gruppe B) er der signifikante resultater for både udskiftning af vinduer og efterisolering af loft. For huse bygget 1979-1999 (gruppe C) er der signifikante resultater for efterisolering af loft, men ikke for udskiftning af vinduer.

Figur 3.2 viser resultaterne for hovedgruppe A, hvad angår nye vinduer. Her ses det, at den teknisk beregnede energibesparelse er anslået til 29,6 kWh/m². Ved at sammenligne med de reelle forskelle, tyder det på, at omkring halvdelen af besparelsen ved nye vinduer er blevet realiseret for denne bygningstype.



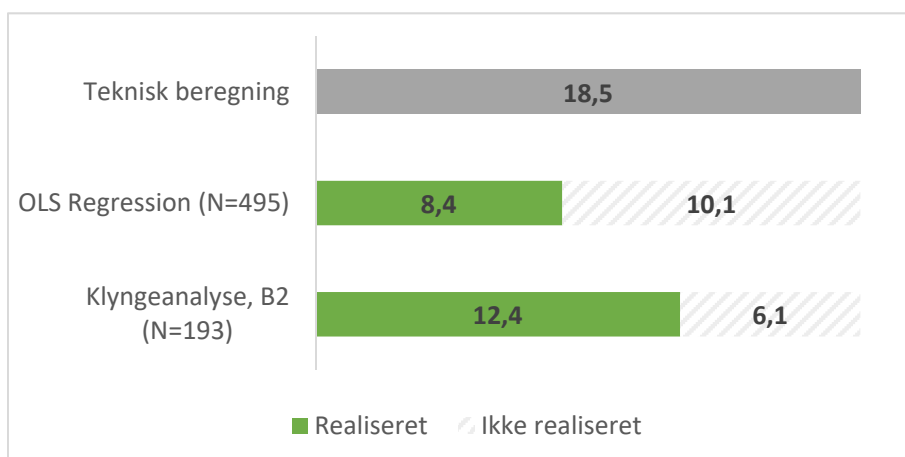
Figur 3.2. Estimat for teknisk beregning sammenlignet med estimater for reelle forskelle i varmekonsum (kWh/m²) (her realiseret) mellem nye vinduer og ikke nye vinduer for gruppe A (før 1962).

Figur 3.3 sammenligner resultaterne for hovedgruppe B, altså de tidlige typehuse i forhold til udskiftning af vinduer. Her er det tydeligt, at langt mindre ser ud til at blive realiseret. Hvis der ses på regressionsestimatet, så er der kun en besparelse på 6,9 kWh/m² i forhold til en forventet besparelse på 34,7 kWh/m².



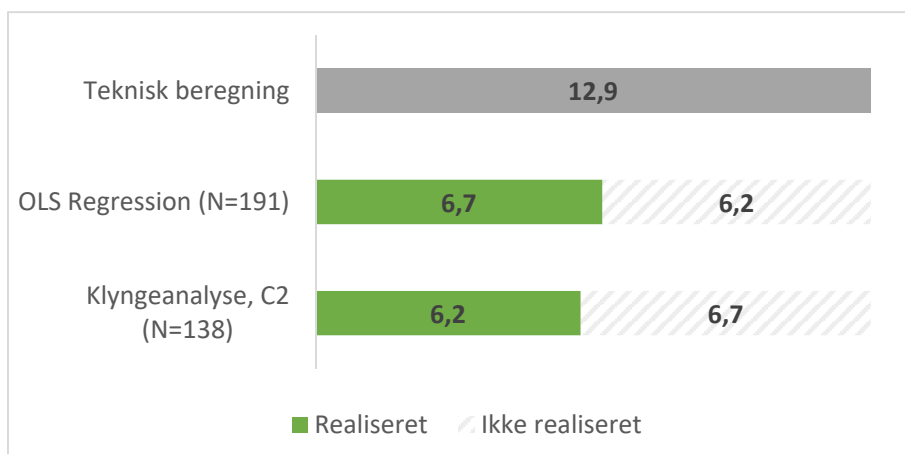
Figur 3.3. Estimat for teknisk beregning sammenlignet med estimater for reelle forskelle i varmekonsum (kWh/m²) (her realiseret) mellem nye vinduer og ikke nye vinduer for gruppe B (1962 til 1978).

I forhold til efterisolering af loft, så viser figur 3.4 ret store besparelser for hovedgruppe B. Det er således næsten halvdelen, der ser ud til at blive realiseret i regressionsestimatet og over halvdelen for klyngegruppen B2.



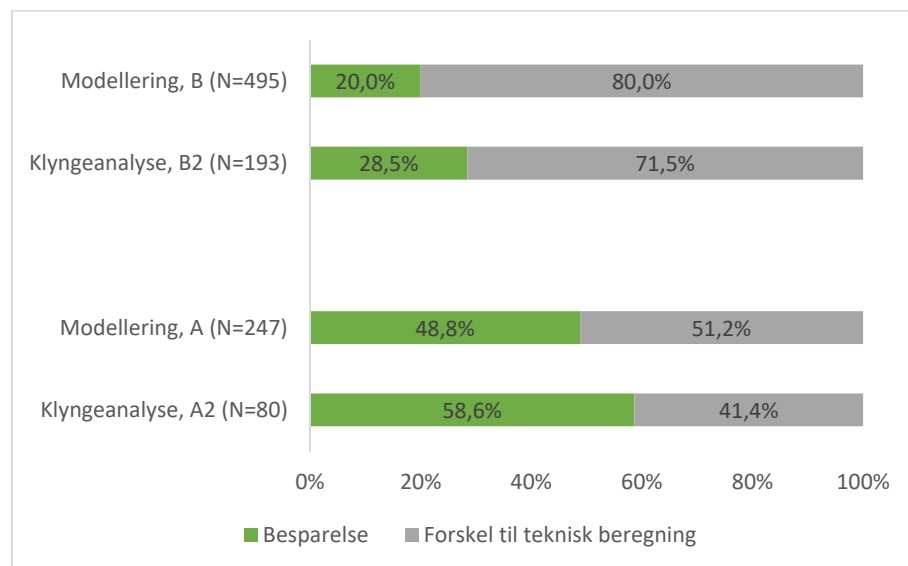
Figur 3.4. Estimat for teknisk beregning sammenlignet med estimater for reelle forskelle i varmekonsum (kWh/m²) (her realiseret) med og uden efterisoleret loft for gruppe B (1962 til 1978).

Figur 3.5 sammenligner forskelle for hovedgruppe C i forhold til efterisolering af loft. Ud fra den tyder det på, at cirka halvdelen bliver realiseret.



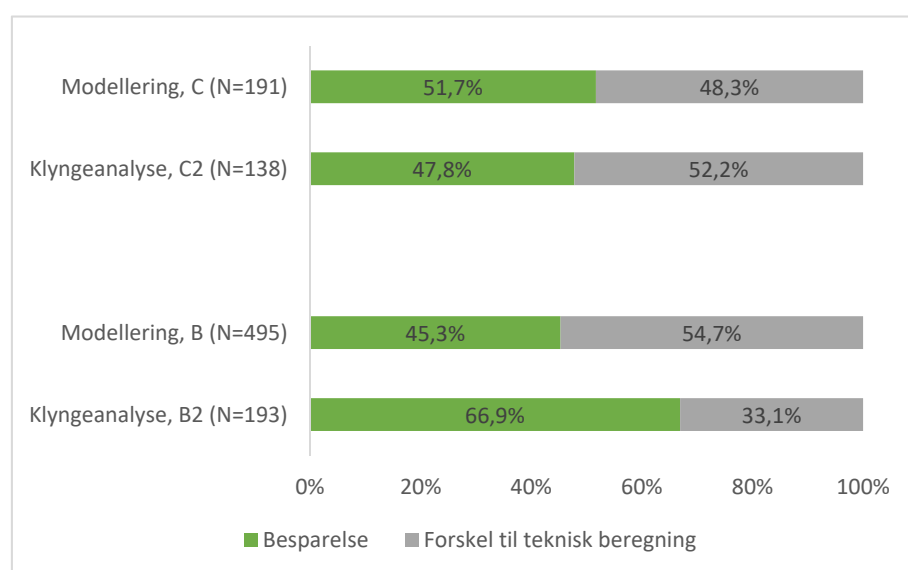
Figur 3.5. Estimat for teknisk beregning sammenlignet med estimater for reelle forskelle i varmekonsum (kWh/m²) (her realiseret) med og uden efterisoleret loft for gruppe C (1979 til 1999).

I det følgende er dette opsamlet i figurer, der viser den procentvise forventede realisering baseret på reelt forbrug data. Dette er altså baseret på de ovenstående figurer ud fra præmissen om, at de reelle forskelle forstås som realiseret energibesparelse. Figur 3.6 viser, at realiseringen ser ud til at være stor for de ældre huse i hovedgruppe A, som er på 48,8 % af den teknisk beregnede besparelse ved modelleringsmetoden og 58,6 % ved klynge-metoden. For hovedgruppe B (1962 til 1978) er realiseringen af den tekniske besparelse kun på 20 % til 28,5 %. For hovedgruppe C (1979-1999) kan det ikke med sikkerhed siges, at der er forskelle i varmekonsum og dermed kan der ikke estimeres en procentandel.



Figur 3.6. Sammenligning af forskellen i varmekonsum i forhold til den tekniske beregnings estimer for nye vinduer i procentandel.

Med hensyn til efterisolering af loft i gruppe B (1962 til 1978) og gruppe C (1979-1999), så viser figur 3.7 at cirka halvdelen af potentialet bliver realiseret, idet realiseringsandelen dog var på 66,9 % for den ene klyngegruppe B1.



Figur 3.7. Sammenligning af forskellen i varmekonsum i forhold til den tekniske beregnings estimer for efterisolering af loft i procentandel.

Ud fra figur 3.6 og figur 3.7 har vi opsummeret og afrundet estimer for, hvor stor en del af de teoretiske beregninger, som ikke ser ud til at blive realiseret for hver af grupperne. Vi har baseret dette på modelleringsestimeret.

Tabel 3.1: Estimat på, hvor stor en procentdel af den teoretisk beregnede besparelse, der ikke opnås i forskellige parcelhustyper i forhold til henholdsvis udskiftning af vinduer eller efterisolering af loft. Vi har ikke medtaget efterisolering af loft i gruppe A og udskiftning af vinduer i gruppe C, da vi ikke med sikkerhed kan sige, at der er forskelle i varmekonsum og dermed ikke kan estimere en procentandel. Dette kan ses i bilag 2, figur 2, som viser en ikke-signifikant forskel på 5 kWh/m² for gruppe A/loftisolering og i bilag 2, figur 6 som viser en ikke-signifikant forskel på 4 kWh/m² for gruppe C/vinduer.

Boligtype	Udskiftning af vinduer	Efterisolering af loft
Gruppe A (før 1962)	Ca 50 %	-
Gruppe B (1962-1978)	Ca. 80 %	Ca 55 %
Gruppe C (1979-1999)	-	Ca 50 %

3.2 Forskelle i husstandspraksis i renoverede og ikke-renoverede huse

I denne delanalyse bruges en række spørgsmål fra spørgeskemaundersøgelsen som mål for husstandenes aktiviteter og rutiner (se spørgsmål i bilag 3). Der er udvalgt variable inden for følgende temaer, som alle er påvist relateret til husstandes varmekonsum:

- Påklædning
- Udluftning
- Indetemperatur
- Regulering af termostater
- Badning

Disse variable er undersøgt ved hjælp af krydstabeller, som kan findes i Bilag 7.

Resultaterne viser, at langt hovedparten af disse variable for husstandenes praksis ikke er væsentligt forskellige for husstande i renoverede huse i forhold til ikke-renoverede huse. Dette kan først og fremmest skyldes, at vores mål for adfærd eller husstandspraksis ikke har været præcise eller detaljerede nok til at måle adfærdsforskelle, idet selv mindre forskelle kan få betydning for det reelle energiforbrug. Der er imidlertid svage indikationer af forskelle. Således tyder det på at:

1. Varmere påklædning og brug af tæppe er mindre udbredt i senere typehuse (C) med efterisolering af loft sammenlignet med samme type huse uden efterisolering.
2. Beboere i tidlige typehuse (B) med efterisolering af loft er lidt mere tilbøjelige til at have et vindue til at stå på klem end beboere i samme type bolig uden efterisolering.
3. I de ældre huse (A) med nye vinduer, er beboerne lidt mere tilbøjelige til at lufte ud for at få frisk luft, samt i forbindelse med madlavning og badning i forhold til beboere i samme type bolig uden nye vinduer.
4. Beboere i senere typehuse (C) med nye vinduer lufter sjældnere ud i forbindelse med madlavning, badning, fugt på vinduerne og rengøring end i samme type huse uden nye vinduer. Her ses således en modsat effekt.
5. Beboere i ældre huse (A) og i tidlige typehuse (B) med nye vinduer i lidt højere grad svarer, at de aldrig regulerer termostater. Det samme gælder i mindre grad for efterisolering af loft.
6. Beboere i senere typehuse (C) med efterisolering af loft klart i mindre grad regulerer deres termostater end beboere i samme boligtype uden efterisoleret loft.
7. Der er en markant forskel i sæsonregulering i ældre huse mellem beboere med og uden renovering, hvor beboere i huse med renovering (nye vinduer eller efterisolering) klart sæsonregulerer mere, dvs. de regulerer mere om efteråret end om vinteren.

8. Beboerne i senere typehuse (C) med nye vinduer i højere grad oplever deres stuetemperatur til at være i den højeste kategori (over 22 grader) i forhold til samme bygningstype uden nye vinduer. Det samme gør sig gældende for efterisolering af loft, dog mindre tydeligt.
9. Der er en signifikant forskel i forhold til antal bade for tidlige typehuse (B) med og uden efterisolering, hvor huse med renovering (nye vinduer eller efterisolering af loft) tager markant flere bade, per person i husstanden. At dette ses for en boligtype, men ikke for de øvrige kan ikke forklares ud fra de data, der er til rådighed.

Samlet set peger dette på, at der er forskelle i adfærd når man sammenligner husstande i samme type bolig henholdsvis med og uden efterisolering (nye vinduer og efterisoleret loft). Alle på nær en forskel i adfærd peger på mulige forklaringer på, hvorfor det fulde teoretiske besparellespotentiale ikke nås. En enkelt forskel i adfærd (nr. 4) skyldes, at beboere i senere typehuse (gruppe C) lugter sjældnere ud end beboere i samme type huse uden nye vinduer. Her ses således en adfærd, der potentielt er mere energibesparende samtidig med, at der er nye vinduer. I alle andre tilfælde er forskellen i adfærd rettet mod en mere energiforbrugende adfærd i boliger, der er mere energieffektive. Disse forskelle i adfærd underbygger således billedet af, at beboerne får mere energiforbrugende adfærd efter energieffektivisering af deres bolig. De adfærdsændringer, der vedrører udluftning og opvarmning, er i overensstemmelse med, hvad der kunne forventes, om end klarere og mere signifikante resultater kunne forventes. Det resultat, der handler om ændrede badevaner i et af de tre bygningssegmenter, er imidlertid ikke helt så forventet. Umiddelbart er det svært at forstå, hvorfor efterisolering af et loft eller udskiftning af vinduer skulle influere på badevaner. En mulig forklaring er dog, at renovering af parcelhuse yderst sjældent handler udelukkende om energibesparelser. Studier viser, at ofte foretages flere renoveringer samtidigt (Gram-Hanssen, 2014; Gram-Hanssen et al., 2015), og det er således muligt at udskiftning af vinduer eller isolering af loft, er sket i sammenhæng med renovering af badeværelset, og måske at der er lavet et ekstra badeværelse, hvilket kan bidrage til at forklare det øgede antal bade.

Analyserne viser imidlertid kun meget små forskelle i alle disse spørgsmål, og indikerer dermed nærmere tendenser end stærke signifikante sammenhænge. Det betyder også, at de forskellige former for ændringer ikke kan sammenlignes direkte i forhold til, hvor stor forklaringskraft de hver især har, eller hvordan de varierer mellem forskellige typer af beboere. Samlet set peger analyserne således på, at der må formodes at ske ændringer i måder at opvarme og udlufte boliger på, når en bolig energieffektiviseres. Ændringerne er imidlertid små og mangeartede, og er ikke nødvendigvis bevidst valgt af husstandene. Ændringerne er derfor svære at måle, men kan ikke desto mindre have betydning for det endelige energiforbrug.

3.3 Skalering af resultater til national repræsentativitet

Ovenstående resultater i afsnit 3.1 og 3.2 er fremkommet ud fra data som er repræsentative for forstæderne omkring Aarhus. Opgaven, som den er stillet af Energistyrelsen, lægger vægt på, at der arbejdes med et repræsentativt udsnit af danske boliger. Beboersammensætning og byggeår for henholdsvis Aarhus-forstæderne og nationale tal er kendte og det er således principielt muligt at skalere resultater til nationalt niveau. I udgangspunktet for dette kan det bemærkes, at parcelhusejere i Aarhus-forstæderne ikke adskiller sig væsentligt fra parcelhusejere i landet som helhed, som det ses i tabel 3.2.

Tabel 3.2: Udvalgte nøgletal om parcelhusejere i henholdsvis Århus forstæder, hvor data er indsamlet, og i Danmark som helhed i 2014.

Husstandsvariabler	Parcelhuse i Danmark	Parcelhuse i Aarhus	Signifikansniveau af forskellen mellem de to grupper
Gns. disponibel indkomst	926.426	1.128.320	***
Andel husstande med mindst én i beskæftigelse	75,2 %	81,1 %	***
Andel husstande med mindst én arbejdsløs	13,4 %	14,3 %	***
Andel husstande med mindst én på pension	33,1 %	29,6 %	***
Gns. antal år boet i bolig	19,4	20,8	***
Andel af enlige husstande	26,2	17,3	***
Gns. alder for den ældste i husstanden	55,3	55,0	*
Antal husstande	330.175	6.307	

Hvordan resultater kan skaleres op fra Aarhusdata til nationalt niveau skal behandles forskelligt for de to delspørgsmål i dette kapitel: henholdsvis hvor stor en andel af den teoretiske besparelse der ikke opnås og hvad ændringer i beboeradfærden kan forklare om dette.

Hvad angår hvor stor en andel af den beregnede besparelse, der kan forventes opnået i landet som helhed, så må resultaterne fra Aarhus sammenholdes med nationale tal om varmemeforbrug i forskellige typer bygninger. I teoretiske beregninger for besparelensespotentialer angives det, at de største varmemeforbrug (og dermed besparelensespotentialer) findes blandt parcelhuse bygget i 1960'erne, idet der er mange af dem og deres energieffektivitet har et stort potentiale for forbedringer (Wittchen et al., 2017, p. 14). I forhold til vores analyser skal resultater for bygningstype B (bygget mellem 1962-1978) således vægtes højt. I tabel 3.1 blev der angivet estimer på procentdel af den teoretisk beregnede besparelse, der ikke opnås i forskellige parcelhus-typer (byggeperiode) og for forskellige effektiviseringstiltag (nye vinduer og efterisolering af tag). Det ses her, at for udskiftning af vinduer i huse bygget 1962-1978 skal op til 80 % af den teoretisk beregnede besparelse ikke forventes opnået. For de øvrige byggealder og tiltag er det omkring halvdelen af den teoretiske besparelse, der ikke skal forventes opnået. Med udgangspunkt i, at huse bygget i 1962-1978 udgør en stor andel af det samlede potentiale, og at vinduesudskiftninger er en ikke uvæsentlig andel af dette potentiale, må de 80 % manglende besparelse for udskiftning af vinduer tages i betragtning.

Alle udregninger bag disse tal er imidlertid forbundet med store usikkerheder, og det vurderes samlet set derfor ikke relevant at forsøge at angive mere præcist, hvor stor en procentdel af den teoretiske potentiale der ikke kan forventes opnået, udover at angive, at det ligger i spændet mellem 50 % og 80 %.

Hvad angår den del af kapitlet, der ser på forskelle i beboernes adfærd, så ville det være relevant at relatere disse adfærdsforskelle til, hvilke typer af beboere der gør hvad, og dernæst bruge dette til at skalere op til nationale tal. Analyserne i afsnit 3.2 viser imidlertid meget små forskelle i adfærd, når der sammenlignes mellem husstande, der har energieffektiviseret og husstande der ikke har. Disse små forskelle i adfærd kan desværre ikke statistisk meningsfuldt, hverken relateres til hinanden og angive, hvilke ændringer der har størst betydning, eller opdeles i hvilke forskellige befolkningsgrupper, der gør hvad. Dermed giver det heller ikke mening at skalere disse resultater op til nationale tal. Det skal dog bemærkes, at parcelhusejere i Aarhus ikke adskiller sig markant fra parcelhusejere i landet som helhed

jævnfør tabel 3.2, hvorfor det må formodes at de indikationer på ændret adfærd, som data viser for Aarhus må forventes at finde sted i landet som helhed.

3.4 Opsamling

Dette kapitel har brugt data fra en spørgeskemaundersøgelse til at sammenholde energiforbrug og adfærd i parcelhuse der er sammenlignelige bortset fra, at nogle er energieffektiviseret ved at udskifte vinduer eller isolere loft og andre ikke er.

Analyserne peger på, at 50-80 % af de teoretisk beregnede besparelser ikke opnås.

- For huse bygget før 1962 tyder det på, at 50 % af den beregnede besparelse ved udskiftning af vindue ikke opnås. Data viser ikke valide resultater for isolering af loft for denne type bygning.
- For huse bygget 1962-1979 tyder det på, at 80 % af den beregnede besparelse ved udskiftning af vinduer ikke opnås, og 55 % ved isolering af loft.
- For huse bygget 1979-1999 tyder det på, at 50 % af den beregnede besparelse ved isolering af loft ikke nås. Data viser ikke valide resultater for udskiftning af vinduer for denne type bygning.

Der er på landsplan mange bygninger, der er bygget i 1960'erne og de udgør en stor del af det samlede potentiale for varmebesparelser. Både vinduesudskiftning og loftsisolering er væsentlige i at nå dette potentiale. Alle angivelser i dette kapitel af procentvise besparelser der ikke nås, er behæftet med væsentlige usikkerheder, men forskellige analyser er kommet frem til procenttal i samme størrelsesorden. Sammenfattende peger analysen således mod at 50-80 % af teoretisk beregnet potentiale ikke opnås i virkeligheden ved renoveringer.

Når de manglende opnåede besparelser skal forklares, peges der ofte på beboernes ændrede adfærd. Der er imidlertid ikke tidligere lavet statistisk repræsentative undersøgelser af beboernes adfærd i forhold til, om de bor i en energirenoveret bolig eller ej. Derfor er der heller ikke tidligere fundet konkrete angivelser af, på hvilke områder beboerne ændrer adfærd og hvilke dele der kan forklare, hvor store andele af de teoretiske besparelser der ikke opnås. Analyser i dette kapitel viser en lang række forskelle i adfærd i boliger, der er energieffektiviseret i forhold til boliger der ikke er. Forskellene er imidlertid små, og i flere tilfælde usikre. Resultaterne kan således pege på en række forskelle i adfærd som relaterer til renovering af huse. Disse inkluderer, at i renoverede huse kan beboerne have en tendens til at:

- Have mindre varm påklædning på
- Lufte mere ud
- Regulere termostater mindre
- Have højere temperaturer

Det skal dog understreges, at alle fundne ændringer i adfærd er små, hvorfor det desværre heller ikke har været muligt at gå i dybden med at forklare hvilke typer af beboere, der har hvilke ændringer eller hvilke adfærdsændringer, der har størst betydning.

4. Analyser af etageboliger på baggrund af tidligere måleprojekter

4.1 Formål

Formålet med denne del af opgaven er at kortlægge, i hvor høj grad adfærdsændringer og andre påvirkninger fra beboere påvirker realiseringen af det teoretiske varmebesparelsespotentiale ved renovering af etageboliger. Årsagerne til disse adfærdsændringer og andre påvirkninger skal kortlægges, og betydningen af disse faktorer skal vurderes og så vidt muligt kvantificeres. I denne del af opgaven tages der udgangspunkt i tidligere gennemførte evalueringer af renoveringsprojekter, hvor der foreligger et rimeligt omfang af energi- og indeklimamålinger før og efter renoveringen. En del af opgaven er, at identificere undersøgelser og sammenfatte resultater med relevans for den aktuelle problemstilling. SBI har deltaget i en række af sådanne evalueringer, men der vil også være andre undersøgelser med fokus på før- og eftermåling af varme-, el- og vandforbrug, som er relevante at inddrage. Mange af disse renoveringseksempler omfatter almene boliger, men for at skabe et repræsentativt billede af etageboligerne søges der også efter renoveringsprojekter under andre ejerformer.

4.2 Metode

De anvendte metoder består af en søgning efter beskrivelser af nyere relevante energirenoveringer af etageejendomme samt en efterfølgende udvælgelse af ejendomme med interviews af beboere og driftspersonale.

4.2.1 Afsøgning af eksempler

For at vurdere beboeradfærdens betydning for de opnåede energibesparelser ved renovering af etageboliger er der eftersøgt projekter og undersøgelser af renoverede etageboliger, hvor der er foretaget målinger af ejendommene før og efter renoveringen. Det er forudsat, at målingerne så vidt muligt skal indeholde beregninger af de forventede varmebesparelser, varmekonsum før og efter renoveringen, gerne opdelt på forbrug på rumopvarmning og forbrug til varmt vand, målinger af indendørs temperaturer før og efter renoveringen, og målinger eller vurderinger af ventilationen.

Der er eftersøgt undersøgelser, rapporter, litteratur m.m. og mulige cases gennem kontakt til kolleger, der har arbejdet med konkrete projekter og undersøgelser, litteratursøgninger, web-søgninger, referencer i relevant litteratur m.m. Ud fra denne søgeproces er der fundet ni danske renoveringsprojekter af etageboliger, hvor der foreligger afrapportering af beregninger og målinger af energiforbrug og indeklima før og efter renoveringen. Herudover er der fundet andre interessante projekter om energirenovering af etageboliger, men hvor der ikke har været et egentligt måleprogram.

4.2.2 Interviews med beboere og ejendomsfunktionærer

Blandt de ni ejendomme er der udvalgt fire, hvor der blev planlagt interviews med beboere og driftspersonale. De fire er udvalgt efter, at der skal være gennemført en vis mængde energisparende foranstaltninger, og der skal være foretaget temperaturmålinger før og efter (i de fleste tilfælde dog kun i

et begrænset antal lejligheder, derfor kan målingerne være behæftet med usikkerheder). Samtidig er der så vidt muligt valgt nyere renoveringer, for at øge sandsynligheden for, at beboerne kan huske hvordan indeklimaet var før renoveringen. I de fem udvalgte ejendomme er det forsøgt at interviewe både ejendomsfunktionærer og minimum tre beboere. Kontakten til mulige beboere er taget gennem boligselskab, administrator eller ejendomsfunktionærer. Der er så vidt muligt efterspurgt beboere, som boede i ejendommene både før og efter renoveringen.

Det er lykkedes at gennemføre interviews med beboere i tre ejendomme (Skoleparken A4 og B4, Gadehavegaard og Traneparken). I Ryesgade 25 lykkedes det ikke at få kontakt til beboerne, selvom det blev forsøgt først fra administrators side, dernæst ved at vi selv uddelte sedler til beboerne om at vi ønskede at gennemføre interviews, men ingen af delene gav tilbagemeldinger fra beboerne. I alt blev der således gennemført ni interviews med beboere.

Herudover blev der gennemført interview med ejendomsfunktionærer i ejendommene Ryesgade 25, Gadehavegaard og Traneparken om renoveringen, energibesparelser og indeklima.

De to typer interviews blev gennemført med udgangspunkt i en semi-struktureret interviewguide (se bilag 9 og 10), der giver plads til at informanterne selv kan bidrage med betragtninger, der har relevans for temaet. Interviewene med beboerne har typisk taget 30 minutter, mens interviewene med ejendomsfunktionærerne typisk har taget 60-90 minutter.

4.3 Sammenfatning af relevante undersøgelser

De undersøgelser af energirenovering af etageejendomme, som den videre vurdering i dette kapitel er baseret på, fremgår herunder⁷:

- EUDP sekretariatet (2014) *Resultater og erfaringer fra energirenovering af Ryesgade 30*.
- Energistyrelsen, EUDP-Sekretariatet (2015) *Gadehavegård - Renovering til Passivhusstandard*. Slutrapport. EUDP 2009-li | Journal Nr. 63011-0078. September 2015
- Rose, J. et al (2017) *Energirenovering af Traneparken*. Teknologisk Institut. 82 s.
- Knudsen et al (2015) *Tenants' Experiences And Satisfaction In Social Housing Subject To Comprehensive Retrofitting. A Danish Case Study*. SBI 2015:20
- Simonsen, G. (2015) PILOTPROJEKT BRÆNDGÅRDSPARKEN. *Energikrav og beboernes energiforståelse og adfærd før og efter en energirenovering*.
- Teknologisk Institut (2018) *Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme*. Hovedrapport. August 2018. Omfatter seks cases.

⁷ Af andre relaterede undersøgelser, som ikke er medtaget i denne del kan nævnes undersøgelser af Albertslund Syd og Vapnagaard (Knudsen og Jensen, 2015), som er refereret tidligere i denne rapport. Et igangværende projekt, "BE READY", skal afdække indeklimaets kvalitet, beboernes adfærd og deres sundhedstilstand før og efter en energirenovering (<https://realdania.dk/projekter/be-ready>). Studiet omfatter undersøgelse af tre renoveringer: Almene boliger i henholdsvis Trigeparken ved Aarhus og Højstrupparken i Odense samt private rækkehuse i Gladsaxe. Forventes afsluttet 2020. P.t. er der afleveret et før-studie af en boligblok i Trigeparken der står foran energirenovering, "Trigeparken før energirenovering". Studiet forventes afsluttet (med eftermålinger) Q2 2020 da renoveringen er blevet forsinket (pers. komm, Mia Kruse Rasmussen, Alexandra Institutet, 10. oktober 2019)

- Wissenberg AS (2015) *Pilotprojekt Hornemanns Vænge. Kan det faktiske energiforbrug efter en optimerende bygningsrenovering forudses gennem beregninger?*

I disse rapporter er der fokus på de opnåede energibesparelser og årsagerne til diskrepanser mellem beregnede og reelt opnåede besparelser, baseret på målinger af energiforbrug og indeklima.

En væsentlig kilde til case-egendomme er rapporten "Reelle Energibesparelser" (Teknologisk Institut, 2018), der beskriver beregninger og målinger af energiforbrug og indeklima før og efter renovering af syv ejendomme⁸. En anden væsentlig kilde er projektet "Energibesparelser for lejere", hvorunder der er beskrevet indsatser i tre ejendomme⁹, hvor formålet primært har været at undersøge, hvordan en højnelse af informationsniveauet blandt beboerne kan påvirke til en mere energibevist adfærd. I disse undersøgelser er der ligeledes gennemført målinger af energiforbrug og indeklima før og efter renoveringen. Herudover er der fundet afrapportering af energirenovierungsprojekter i ejendommene Ryesgade 30 (København) og Traneparken (Hvalsø), der begge indeholder beregnede og reelle forbrug samt indeklimamålinger.

De 9 ejendomme og de fire udvalgte (markeret med fed skrift) fremgår af tabellen herunder.

Tabel 4.1. De ni renoverede ejendomme som indgår i denne undersøgelse

Case	Beregnet og reelt varmekonsum før og efter renoveringen	Opdeling på varme til rumopvarmning og varmt vand	Temperaturmålinger før og efter renoveringen
Skoleparken, blok A4 og B4	X	X (målt forbrug)	X
Ryesgade 25, København	X	X	X
Gadehavegaard, Taastrup	X	X (ikke målt forbrug efter)	X
Hjortegården, Herlev	X	X	X
Kildegårds Plads, Gentofte	X	X (målt forbrug)	X
Ryesgade 30	X	-	X
Brændgårdsparken	X	X (efter renovering)	X (efter renovering)
Hornemanns Vænge	X	-	X
Traneparken, Hvalsø	X	-	X

Blandt de ni ejendomme er de fem almene bebyggelser, mens de øvrige er privat udlejning. Alle almene bebyggelser er opført i perioden 1970-1980, mens de private er opført 1906 og 1886. Data for beregnet og reelt energiforbrug i de ni ejendomme før og efter renoveringen er samlet og præsenteret grafisk, og der er foretaget vurderinger af de reelle varmebesparelser i forhold til de beregnede besparelser.

⁸ Skoleparken, blok A4 og B4, Ryesgade 25, Gadehavegaard, Hjortegården, Kildegårds Plads

⁹ Brændgårdsparken, Hornemanns Vænge og Wilkenbo, alle tre private udlejningsboliger. De tre pilotprojekter er afrapporteret separat, og er en del af projektet "Analyse- og pilotprojekt om lejernes holdninger og adfærd ved energirenovierung af private udlejningsboliger". Projektet afprøver effekten af måling og synliggørelse af energiforbruget i private lejeboliger, og udgør den ene halvdel af et samlet projekt under 'Handlingsplan for energirenovierung af lejeboliger', som blev iværksat af AlmenNet, Ejendomsforeningen Danmark og Bygherreforeningen i oktober 2010.

I det følgende præsenteres de fire udvalgte ejendomme, hvor der er foretaget interview med beboere og/eller driftspersonale om de opnåede resultater.

4.4 Præsentation af fire udvalgte ejendomme

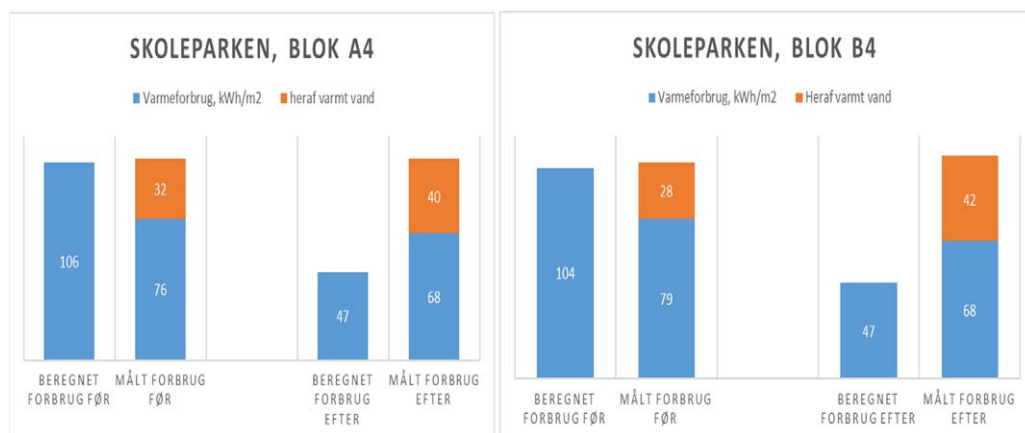
4.4.1 Skoleparken Hillerød

Renovering og resultater

Den følgende beskrivelse af renoveringen af Skoleparken er baseret på (Teknologisk Institut, 2018). Skoleparken er en almen boligafdeling på 9 blokke og 3 etager, opført 1965-1968. Den har tidligere gennemgået en renovering (1993-1995). Den seneste renovering er gennemført 2015-2018 og har indebåret energiforbedring af klimaskærm, udvidelse af altaner, nye ventilationsanlæg, nye varmeinstallationer og nye tilgængelighedsboliger (handicapegnede boliger med øget tilgængelighed gennem regulering af terræn, opsætning af ramper til kørestolsbrugere og elevatorbetjening). Blok A4 (5 opgange) og B4 (7 opgange) har været undersøgt som repræsentative for samtlige boliger. Arealet blev i forbindelse med renoveringen udvidet fra hhv. 2.676-2.826 m² (blok A) og 3.747-3.942 m² (Blok B).

Det reelle energiforbrug til opvarmning er i Blok A gået fra 76 kWh/m² til 68 kWh/m². Forbruget til varmt brugsvand er gået fra 32 kWh/m² til 40 kWh/m². Det samlede reelle forbrug er gået fra 108 kWh/m² til 106 kWh/m². De beregnede forbrug var hhv. 106 kWh/m² før renoveringen og 47 kWh/m² efter renoveringen (inkl. varmt brugsvand). Der har således været stor forskel på reelt og beregnet forbrug efter renoveringen. Dette tilskrives primært beboernes øgede badevaner, og at de har taget deres vaner med sig fra før renoveringen mht. udluftning med åbne vinduer (Teknologisk Institut, 2018).

Der er kun udført én beregning af det forventede energiforbrug (for Blok A), da man antog, at beregningen af energiforbruget i blok B ville være det samme. Der er målt temperaturer før og efter i 6 boliger i blok A og 7 boliger i Blok B. Gennemsnitstemperaturen har ikke ændret sig nævneværdigt (før: 21.6; efter 21.5). Den højere temperatur i forhold til 20 grader som forudsættes i beregningerne skaber et 15 % højere forbrug i forhold til det beregnede varmeforbrug efter renoveringen (Teknologisk Institut, 2018).



Figur 4.1. Beregnede og reelle varmeforbrug i Skoleparken blok A4 og B4, før og efter renovering. Kilde: (Teknologisk Institut, 2018).

Interviews

I Skoleparken er der foretaget kvalitative interviews med tre beboere; de to interviews blev gennemført som 1:1 interviews i beboernes lejlighed i Skole-

parken, mens det tredje blev gennemført som telefoninterview. Alle interviews tog omkring 30 minutter. De tre beboere er i alderen 42 til 77 år. De to beboere bor alene, mens den tredje bor med sin mand og to børn. De to beboere har boet der før renoveringen, mens den tredje er flyttet til efter renoveringen i 2017.

Sammenfatning

- Ikke tegn på at der skrues op for varme, men på at termostater på radiatorer holdes på samme niveau som før renovering
- Tegn på, at beboerne fortsat lugter regelmæssigt ud, på trods af, at der er etableret balanceret ventilation der gør udluftning overflødig
- Eksempel på ændrede badevaner efter renovering, som muligvis kan forklare øget varmtvandsforbrug
- Beboerne mangler viden om, hvordan de skal agere i forhold til ventilation og varme

Ændret varmedadfærd

Energiforbruget i Skoleparken er faldet mindre end forventet og en af årsagerne kunne være ændret varmedadfærd blandt beboerne. To af de interviewede beboere har ikke ændret praksis omkring radiatorerne, hvilket betyder, at deres termostat står på det samme i den renoverede lejlighed, som den gjorde før renoveringen. Hos den ene beboer betyder det 3 og hos den anden beboer betyder det 4. Den sidste beboer har til gengæld ændret praksis, og har endnu ikke tændt for varmen i sin lejlighed, hvilket hun plejede at gøre langt tidligere på året før renoveringen. På trods af forskellig praksis omkring radiatorerne, så mener alle de interviewede beboere, at deres lejlighed er blevet betydelig varmere efter renoveringen og de oplever ikke længere træk eller kulde fra vinduerne.

Generelt peger interviewene ikke på, at beboerne har skruet op for varmen i deres renoverede bolig, men i højere grad på, at de ikke har ændret praksis, fordi deres bolig nu er langt bedre isoleret og derfor oplever de en langt bedre varmekomfort.

Ventilation og udluftning

I Skoleparken er der i forbindelse med renoveringen etableret mekanisk ventilation med centralt styret varmegenvinding, i alle lejligheder. De tre beboere er alle blevet bedt om ikke at røre ved anlægget og de kontakter derfor ejendomskontoret, hvis de oplever problemer. To af beboerne oplevede fx problemer med træk og larm fra ventilationsanlægget kort efter renoveringen var afsluttet, og i den forbindelse kontaktede de begge ejendomskontoret, og har ikke siden oplevet lignende gener.

Efter installation af mekanisk ventilation er det ikke nødvendigt at lufte ud i lejlighederne. Dette er dog ikke noget, de interviewede beboere er bevidst om og de lugter alle ud dagligt. Fx fortæller en beboer, at hun har to børn med astma og altid har luftet meget ud. Det gør hun stadig og hun gætter på, at der er gennemtræk op mod en time om dagen. Derudover sover hun også med åbent vindue, hvor hun så skruer ned for temperaturen imens. Selvom de øvrige interviewede beboere ikke lugter ud helt så længe, sover de ofte med åbent vindue og har vinduet på badeværelset åbent.

Det daværende ventilationsanlæg viste sig ved gennemgangen at fungere mangelfuldt, bl.a. kørte dele af udsugningen kun på halv kraft, således at den primære ventilation er kommet fra naturlig ventilation og udluftning. Det kan muligvis have medført, at nogle beboere har vænnet sig til at lufte ud manuelt. En af årsagerne til det højere energiforbrug kan være, at beboerne

stadig lufter ud i samme grad, som før de fik den nye mekaniske ventilation. Interviewene med de tre beboere peger i retning af, at dette kunne være tilfældet.

Badevaner

Efter renoveringen er beboernes vandforbrug steget fra 32 kWh/m² til 40 kWh/m². I interviewene med beboerne er der ikke noget, der peger direkte mod en årsag, men særligt en af interviewpersonerne har ændret vaner efter renoveringen. Beboeren beskriver, at hendes badeværelse før renoveringen var meget fugtig og havde en del skimmel, hvorfor hendes to børn ikke ville bade der og ofte badede hos bedsteforældrene eller i svømmehallen. Efter renoveringen har lejligheden fået nyt badeværelse, og børnene bader nu i lejligheden hver anden dag. Der er selvfølgelig tale om en særlig situation, men da flere af beboerne har fået udskiftet deres badeværelse, er det værd at overveje, om lignende forhold kan gøre sig gældende blandt andre beboere i Skoleparken.

Information og viden

Ovenstående beskrivelser peger i retning af, at beboernes adfærd ikke nødvendigvis har ændret sig hensigtsmæssigt efter renoveringen. Blandt de interviewede beboere er der dog også meget som tyder på, at beboerne ikke har viden om, at de burde have ændret vaner. En beboer henviser til, at de har fået at vide, at de skal lufte ud hver dag og en anden beboer fortæller, at hun lufter ud hver dag, men egentlig ikke ved om det er nødvendigt, men gør det, fordi hun altid har fået at vide, at det skal man. De interviewede beboere mindes derudover ikke at have fået instruktion om, hvordan lejligheden skulle bruges anderledes efter renoveringen. To af dem kan dog huske at have modtaget en tyk folder om generel vedligehold af lejligheden. De har dog ikke læst den. Generelt peger det på, at beboerne mangler viden og information om, hvordan de skal agere med hensyn til varme og ventilation efter renoveringen.

4.4.2 Ryesgade 25, København

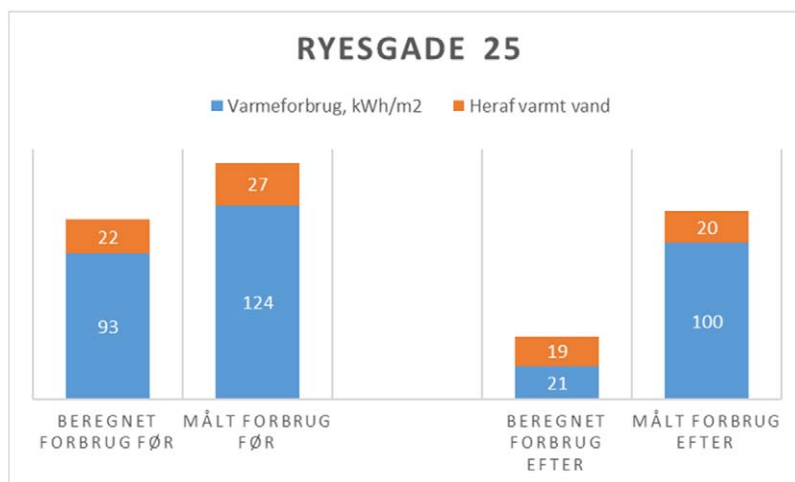
Renovering og resultater

Den følgende beskrivelse af renoveringen af Ryesgade 25 er baseret på (Teknologisk Institut, 2018). Ejendommen er en 5-etages murstensbygning opført i 1906, og fungerer som privat udlejning. Den blev renoveret i 2016-2017. Ryesgade 25 er en videreudvikling af erfaringerne fra Ryesgade 30, der i 2013 vandt Renoverprisen for bedste renovering, og har samme ejer og administrator. Der er ved renoveringen gennemført indvendig efterisolering af facade med højisolierende skum, udvendig efterisolering af gavl, tagisolering med solceller, nye vinduer, nyt to-strengs varmeanlæg med ny automatik, decentralt ventilationsanlæg i lejligheder med 85 % varmegenvinding og behovsstyret ventilation efter luftens fugtindhold, der kan overstyres. Herudover er ejendommen blevet bæredygtigheds-certificeret efter DGNB-ordningen.

Før renoveringen var der 35 lejligheder på mellem 50 og 100 m². Efter renoveringen er der 35 lejligheder på mellem 65 og 135 m², og der er kommet 7 nye lejligheder på mellem 85 og 130 m² i loftetagen med tagterrasser. Samlet set er arealet øget fra 3.248 m² til 3.819 m² (18 %). En del beboere blev opsagt (pga. nedlæggelse af lejlighed) eller opsagde selv deres lejlighed pga. store lejeforhøjelser.

Beregningerne og reelt forbrug er relativt forskelligt; til opvarmning er der beregnet et før-forbrug på 93 kWh/m², det reelle forbrug var 124 kWh/m². Efter var der beregnet et forbrug på 21 kWh/m², det reelle var 100. Det varme

brugsvand er ligeledes højere end beregnet (27 kWh/m² målt, beregnet 22 kWh/m² – mens beregning og målt forbrug efter renoveringen passer nogenlunde, 20 vs. 19 kWh/m²), men er faldet efter renoveringen (fra 27 til 20 kWh/m² pr år). Samlet set betyder det, at det reelle forbrug efter renoveringen er mere end 4 gange så højt som det beregnede. Se figur herunder.



Figur 4.2. Beregnede og reelle varmekonsum i Ryesgade 25, før og efter renovering. Kilde: (Teknologisk Institut, 2018).

Der er ifølge rapporten (Teknologisk Institut, 2018) flere mulige årsager til dette:

- Målinger før og efter renoveringen viser, at middeltemperaturen (29 lejligheder) steg fra 19 til 22 grader.
- Der er en stor uoverensstemmelse mellem teoretisk og reel luftskifte til ventilation. Det gælder både før (0,13 l/s/m² teoretisk og 0,35 målt) og efter (0,13 teoretisk og 0,43 målt) renoveringen. Dette har betydning for energiforbruget (men ikke angivet hvor stort). Ventilationsanlægget er ikke endeligt indreguleret, så der kan forventes et lavere varmekonsum når det sker.

Den lavere temperatur i før-situationen burde tale for et lavere forbrug end beregnet, men det er væsentligt højere end beregnet, hvilket må antages at skyldes ventilationen. Efter renoveringen er indetemperaturen højere end forudsat (22 grader), og det er derfor forventet at varmekonsumet er højere – men en del af det højere forbrug skyldes formentlig den øgede ventilation.

Interview

Der er gennemført interview med ejer og administrator fra Drost Fonden og med den driftsansvarlige. Det er forsøgt at komme i kontakt med beboerne til interviews, men det er ikke lykkedes.

Bygningen efter renoveringen

Før renoveringen var huslejen lav, men det var komforten også, og ejendommen var dårlig energimæssigt. Med renoveringen ønskede man at øge kvaliteten af ejendommen og at få en mere blandet beboersammensætning. Renoveringen førte til en væsentlig højere kvalitet af ejendommen. Huslejen blev fordoblet, men til gengæld var komfortniveauet også markant højere. Administrator mener, at det giver god mening, at beboerne skruer op for varmen for at øge komforten; de har boet i en lejlighed, der var kold og fugtig, men nu har de mulighed for at have et langt højere komfortniveau og gå rundt indenfor i t-shirt fremfor i sweater og uldsokker.

Ventilationen er ifølge administrator det helt store problem. Under renoveringen var der problemer med monteringen af det decentrale ventilationssystem, der blev samlet forkert ved levering, hvilket har gjort det utæt og svært at regulere korrekt. Det betyder, at de enkelte anlæg skal repareres separat i de enkelt lejligheder, og i nogle tilfælde kræver destruktive indgreb, da de er skjult i konstruktionerne. Selv om mange er blevet gennemgået af producenten, er der stadig 3-4 fejlansøgninger tilbage. Beboerne klager over, at det trækker og at de derfor bliver syge. Derfor skruer de nogle gange ned for anlægget. Administrator fortæller, at ingeniørerne mener det er problematisk, da der kan ske en større fugtphobning. Han mener dog, at de har et godt overblik over ejendommen, fordi der ikke er så mange lejligheder. Derudover kan anlæggene styres individuelt. Et andet problem er, når beboerne forsøger at stoppe ventilationen ved at klippe en ledning eller stoppe stof ind, der hvor det trækker. Beboerne har mulighed for at regulere ventilationen midlertidigt dvs. at hvis de skruer ned, gælder denne indstilling i 4 timer. Administrator mener dog ikke, at denne funktion bliver benyttet særlig meget.

Beboeradfærd

Nudging. Administrator og driftsansvarlig refererer til begrebet "nudging" og mener, at det er vejen frem ift. at ændre beboernes adfærd; beboerne ikke kan motiveres af fx miljøspørgsmål og energiforbruget udgør en så lille del (5 %) af beboernes husleje, at det heller ikke er økonomien, der kan motivere dem. Et eksempel på nudging er, ifølge driftsansvarlig, at de i Ryesgade 25 har installeret en kontakt i gangen, så beboeren kan slukke for al elektronik (med undtagelse af køleskab og fryser) i lejligheden når de forlader denne.

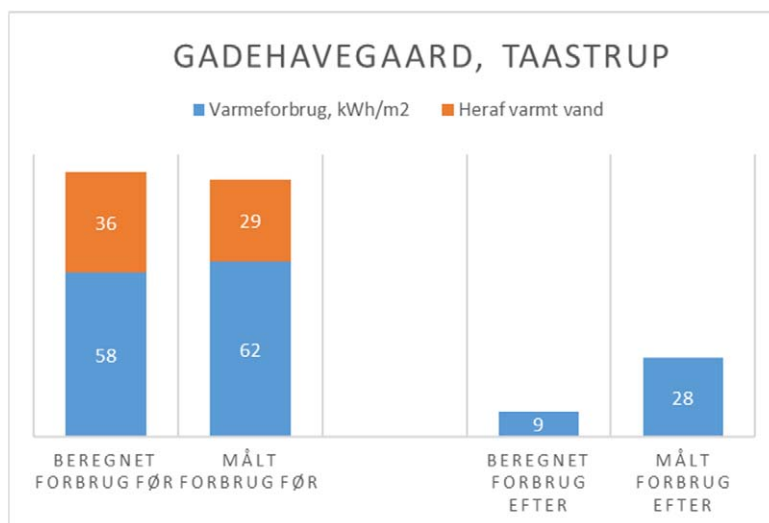
Uddanne beboerne. Driftsansvarlig mener, at der er et stort potentiale i at uddanne beboerne til at bo i deres lejlighed. Hendes eksempel er en kvinde, der først boede i det urenoverede Ryesgade 30 og flyttede tilbage hertil efter renoveringen. Hun var dog meget utilfreds med bl.a. ventilationen og det endte derfor med, at hun flyttede til en ejendom i Charlottenlund uden ventilation. Dog fik hun et stort skimmelpilproblem, da hun glemte at lufte ud, idet hun havde vænnet sig til ventilationen i Ryesgade. Driftsansvarlig mener, at det er et klassisk eksempel på uheldig beboeradfærd, der kunne undgås ved at forberede beboerne bedre på den ejendom og lejlighed, de skal flytte ind i. Hun mener desuden, at nudging også kan være en måde at uddanne beboerne, og gøre dem opmærksomme på forskellige problematikker. Som en ny ting skal man mødes med lejereren ved indflytning og vise dem rundt, og administrator mener, at det er oplagt at udnytte denne situation til at uddanne beboerne. Der er imidlertid svært at finde kvalificerede viceværter, og jobbet opleves generelt som uattraktivt, selvom det er godt lønnet. De nuværende varmemestre og viceværter i ejendommen er eksterne. Administrator erkender, at de har været for dårlige til at sætte viceværterne ind i systemerne. De hyrer en ingeniør ind til at ændre på varmesystemet, men glemmer at lære viceværten, hvordan det skal styres. Han mener, at de skal være bedre til at respektere denne del af deres værdikæde.

4.4.3 Gadehavegaard

Renovering og resultater

Den følgende beskrivelse af renoveringen af Gadehavegaard er baseret på (Teknologisk Institut, 2018). Gadehavegaard er et alment etagebyggeri i Høje Taastrup, der rummer omkring 1.000 lejligheder i 19 blokke. Den ene af disse blokke, Blok 9, har forsøgsvis været renoveret med henblik på at reducere energiforbruget til passivhus-standard. Byggeriet er opført 1977-1982 og er tidligere renoveret i 1999. Projektets formål var at demonstrere dybdegående energirenovering af etageejendomme til passivhusstandard med et energiforbrug til opvarmning på ned til 10 kWh/m². Der er målt temperaturer

før og efter i seks udvalgte lejligheder efter renoveringen. Dette er sammenlignet med tilsvarende målinger i en naboblok, der ikke er renoveret. Det viser, at stuetemperaturen er 1,6 grader højere i den renoverede blok (21,7 hhv. 23,3 som er middelværdier for de målte lejligheder). Årsagen til den manglende besparelse kan også være, at de aflukkede altaner giver mere boligareal, og mange beboere vælger at udnytte de ekstra kvadratmeter ved at have altandørene stående åbne, hvorved varmemeforbruget bliver højere end forudsat. Vinduer mellem altan og beboelse er uændrede, mens vinduer mellem altan og omgivelser er nyopsatte tre-lags energiruder. Hvis de yderste vinduer står åbne i længere perioder, kan det påvirke energibesparelsen, som bliver mindre end forventet (citeret fra pjecen "anbefalinger baseret på Gadehavegaard"). Set i forhold til det reelle før-forbrug er der dog opnået besparelser på varmemeforbruget på 34 kWh/m², dvs. mere end 50 % af det oprindelige forbrug. Der er ikke målt på forbrug af varmt vand efter renoveringen, da det varme vand produceres i fællesskab med andre blokke.



Figur 4.3. Beregnede og reelle varmemeforbrug i Gadehavegaard, før og efter renovering. Kilde: TI (2018)

Interviews

Der er foretaget kvalitative interviews med tre beboere; to af beboerne blev interviewet sammen i den enes lejlighed og den tredje beboer blev interviewet alene i sin lejlighed. Alle interviews tog omkring 30 minutter. To af beboerne har boet i Gadehavegaard i hhv. 25 og 30 år, mens den sidste beboer har boet der 1 år. De to beboere bor alene, mens den tredje bor alene med et barn. De to beboere har boet der før renoveringen, mens den tredje er flyttet til efter renoveringen i 2017.

Herudover er der gennemført interview på ca. 60 minutter med to driftsansvarlige.

Sammenfatning

- Der er ikke tegn på, at beboerne skruer op for varmen, da termostaten ikke længere kan skrues højere op end 21 grader.
- Der er tegn på, at beboerne fortsat lugter regelmæssigt ud, på trods af, at der er etableret balanceret ventilation, der gør udluftning overflødig
- Beboerne agerer ikke i tråd med viden om, hvordan de skal agere i forhold til ventilation og varme

Ikke-regulerbar varme og altanarealet

En af årsagerne til det øgede forbrug kan være, at beboerne skruer op for varmen. Siden renoveringen har man dog ændret termostaterne, så bebo-

erne ikke længere kan regulere dem til mere end 21 grader. Blandt beboerne i denne undersøgelse er der delte meninger om denne temperatur er tilpas eller for lav. Hos en af beboerne var der endnu ikke tændt for varmen og hun synes de 21 grader var helt tilpas. En anden beboer synes dog, at 21 grader er alt for lidt og fryser ofte derhjemme. Hun mener, at det ville passe bedre med 22 eller 23 grader og har købt en elektrisk varmeovn til sin stue. De to beboere mener, at flere af de andre beboere også synes, at 21 grader er til den kolde side og kunne ønske lidt højere temperatur.

En anden årsag til at forbruget er højere end forventet, kan være, at lejlighederne nu har fået et større areal i form af en lukket altan. I denne undersøgelse er der kun to af beboerne der har en altan, og de bruger den forskelligt. Den ene beboer, som sjældent fryser, har altandøren åben det mest af året, så den lukkede altan er en del af lejlighedens areal. Den anden beboer, der ofte fryser, har altid altandøren lukket for at holde på varmen. Der er derfor ikke noget entydigt i denne undersøgelse, der peger på, at der er et øget varmeforbrug fordi altandøren oftere er åben.

Ventilation og udluftning

I forbindelse med renoveringen har bygningen fået et decentralt mekanisk ventilationsanlæg. Overordnet er beboerne meget tilfredse med renoveringen, men der har også været udfordringer. En beboer havde udfordringer i forbindelse med monteringen af anlægget, hvor rørene blev vendt forkert, hvilket dog blev udbedret efter hun kontaktede ejendomskontoret. En anden beboer oplever stadig nogle problemer med anlægget. Modsat de to andre beboere, viser hun, hvordan anlægget kan stilles på enten 1 eller 2 ved emhætten i hendes lejlighed. Hun mener at have fået udleveret et papirark, hvor der stod, at den skulle stå på 1 når hun ikke er hjemme og 2 når hun er hjemme. Dog larmer funktion 2 så meget, at hun altid har den stående på 1. Da det ikke er noget de to øvrige beboere havde kendskab til, er det svært at sige om det er et generelt problem blandt beboerne, men det er relevant at bemærke den manglende viden om indstillingerne, blandt to af beboerne, og et system, der ikke fungerer optimalt for den sidste beboer.

Med et decentralt mekanisk ventilationsanlæg bør det ikke være nødvendigt at lufte ud i lejlighederne. Dog er det stadig noget beboerne i denne undersøgelse gør hver dag. To af beboerne mener, at de har fået at vide, at de ikke skal lufte ud, men gør det alligevel. Den ene synes, at det er nødvendigt når hun har lavet mad, og fordi hun har en hund. Den anden synes det er rart at få frisk luft ind. Den sidste beboer har ikke fået information ift. udluftning og lufte ud hver dag i 10 min.

Information og viden

Generelt peger det mod, at beboerne har fået divergerende eller manglende information om den renoverede lejlighed. To af beboerne har været med til alle beboermøder og har stor viden om renoveringsprocessen og de forventninger, der blev opstillet om fx varmeforbrug efter renoveringen. Derudover har de fået en folder om blok 9, som de dog ikke har læst i. Den tredje beboer flyttede først ind efter renoveringen og har ikke fået hverken folder eller information. Hun synes selv, at emnet er spændende og har derfor opsøgt en del viden på nettet, fx om hvordan hendes energiforbrug er ift. andre familier af samme størrelse. Derudover har hun hørt om den app man kan få, for at se temperaturen i lejligheden, men hun har endnu ikke fået den downloadet. Selvom to af beboerne har været aktivt med fra starten, har de ikke information om, hvordan ventilationen skal indstilles og lufte ud til trods for, at de har fået besked på det modsatte. Den tredje beboer har derimod fået information om ventilationen, men ikke om udluftning og heller ikke om folde-

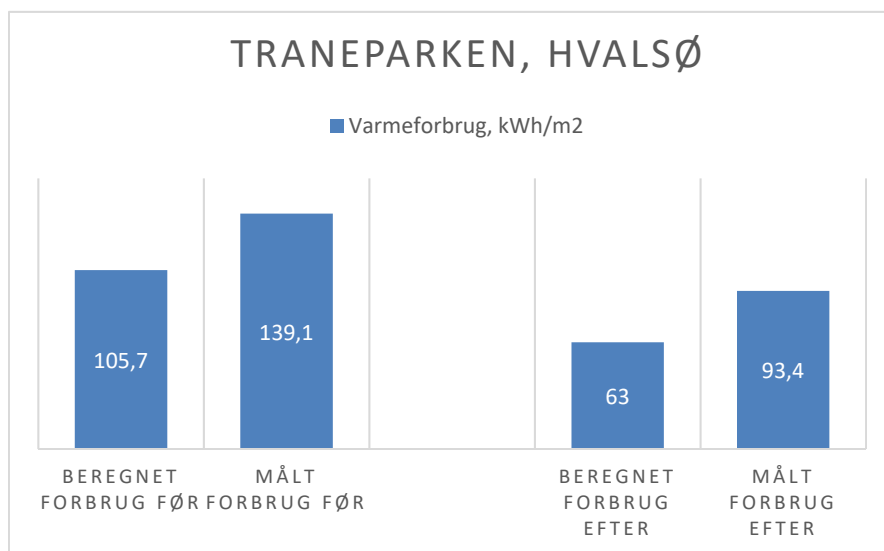
4.4.4 Traneparken, Hvalsø

Renovering og resultater

Den følgende beskrivelse af renoveringen af Traneparken er baseret på (Rose et al., 2017).

Boligbebyggelsen Traneparken, som oprindeligt er opført i 1969, har gennemgået en omfattende energirenovering fra november 2011 til oktober 2012. Bebyggelsen består af 3 etageboligblokke. Hver enkelt blok har 3 etager, i alt er der 66 lejligheder, og det samlede opvarmede etageareal er 5.293 m².

Det primære mål med renoveringen var at rette op på nedslidte betonvægge og herudover renovere de øvrige nedslidte dele af bygningerne, forbedre indeklima, reducere energiforbruget (isolere konstruktioner, skifte vinduer, indføre balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding) og tilføje altaner. Målet var, at bebyggelsen skulle opfylde lavenergiklasse 2015 jf. BR10. Der blev beregnet en forventet besparelse på 40 %, fra 105,7 til 63 kWh/m². I praksis blev besparelsen dog kun på 33 %. Det dækker dog over, at før-forbruget var højere end beregnet, og besparelsen derfor blev "lettere" at opnå. Forskellen i efter-forbruget mellem beregnet og reelt forbrug er således på 48 %.



Figur 4.4. Beregnede og reelle varmekonsum i Traneparken, før og efter renovering. Kilde: (Rose et al., 2017).

Interviews

Der er foretaget kvalitative interviews med fire beboere; to af beboerne boede sammen og blev interviewet sammen i deres lejlighed og de to øvrige beboere blev interviewet hver for sig i deres lejligheder. Alle interviews tog omkring 30 minutter. Alle beboerne er pensionister og har boet her mellem 7 og 40 år. Alle beboerne har boet i Traneparken før renoveringen.

Sammenfatning

- Ikke tegn på at der skrues op for varme, men på at termostater på radiatorer holdes på samme niveau som før renovering, hvilket medfører højere temperaturer.
- Tegn på, at beboerne fortsat lufte regelmæssigt ud, på trods af, at der er etableret balanceret ventilation der gør udluftning overflødig.
- Beboerne mangler eller agerer ikke i tråd med viden om, hvordan de skal agere i forhold til ventilation og varme, men samtidig er kommunikationen mellem boligselskab og beboere dårlig.

Dette er i tråd med den tidligere gennemførte spørgeskemaundersøgelse blandt beboere om renoveringen, og deres energiadfærd før og efter (Knudsen et al., 2015). Her sagde 72 % af lejerne at de havde problemer med lave temperaturer før renoveringen, mens 76 % efter renoveringen ingen problemer havde med temperaturen. Næsten halvdelen af beboerne (48 %) gav udtryk for, at deres energiforbrug var så lavt som forventet efter renoveringen. I interviewene gav flere udtryk for, at beboerne havde sparet mange penge på varmeregningen efter renoveringen. Undersøgelsen viste også, at 44 % siger, at temperaturen er højere efter renoveringen, mens 12 % siger den er lavere, og at hovedparten (68 %) lufter ud på samme måde som før – selvom det ikke er nødvendigt eller ønskværdigt set fra en energimæssig vinkel (Knudsen et al., 2015).

Den driftsansvarlige fra boligselskabet giver dog udtryk for, at det ikke gør den helt store forskel om folk lufter ud, da der benyttes et genveks-anlæg, der har en høj varmegenvinding. Det betyder, at man suger luft ud som er omkring 23 grader, og blæser frisk luft ind som varmes op til 21 grader. For meget udluftning er mest et problem i de kolde perioder.

Varme

Før renoveringen havde størstedelen af beboerne et problem med, at temperaturen i lejligheden var for lav. Dette er dog ikke et problem blandt beboerne længere, og der er blevet installeret ventilation med varmegenvinding i ejendommen, hvilket betyder, at beboerne får 21 grader ind i lejligheden herigennem. Dette resonerer også blandt de interviewede beboere. En af beboerne har et termometer i stuen, der viser 22 grader i lejligheden og han har bemærket, at han ikke længere behøver at tage en sweater på indenfor, selvom radiatoren står på det samme som før renoveringen. De øvrige beboere har ligeledes oplevet en langt højere varmekomfort, selvom termostaten enten står på det samme som før renoveringen eller at de endnu ikke har tændt for varmen. Derudover lægger de meget vægt på, at deres varmeregning har ændret sig markant. For alle fire beboere, er varmeregningen næsten blevet halveret og de har ikke et decideret ønske om yderligere at sænke den. Før renoveringen var det et problem, at varmeregningen var høj, og da mange var på folkepension var der god grund til at spare på varmen.

Ventilation

Efter renoveringen er det ikke længere nødvendigt for beboerne at lufte ud, men det er dog noget beboerne i denne undersøgelse stadig gør, og noget de mener at have fået besked om fra ejendomsselskabet. En af beboerne lufter ud hver morgen i soveværelset, hvor der ikke er udblæsning, og en gang i mellem åbner han altandøren. To af de andre beboere har ligeledes soveværelsesvinduet åben hele dagen og lukker det så om natten. Det er noget de altid har gjort, de steder de har boet før. Det samme gør sig også gældende for den sidste beboer, der også har vinduet i soveværelset åbent.

I årene efter renoveringen, har der været problemer med ventilationen i forbindelse med, at den en gang om ugen laver en brandtest, hvor den i ti minutter suger fra de 5 ventilationskanaler i lejlighederne, men ikke stopper efter ti minutter, som den skal. Ejendomsselskabet mener, at det er løst, mens beboerne stadig mener, at det er et problem. En af beboerne lagde mærke til en markant forskel i indeklimaet, da ventilationen sidst stoppede og kunne godt mærke, at luftskiftet var langt mindre, hvorfor hun også luftede mere ud.

Kontakt og information

Et generelt problem blandt beboerne er manglende information og mistro til boligselskabet. De har ikke længere en ejendomsfunktionær i ejendommen og alle opgaver med fx vvs og el, er udliciteret til eksterne håndværkere. De

kontakter derfor boligselskabet i Ringsted direkte, hvis der er noget galt, men har meget lidt tiltro til, at de ved noget om forholdene i bygningen. En af beboerne fortæller for eksempel, at det er dem der har fortalt, at de fortsat skal lufte ud og, at han har stået for at lave ventilationen, når de ikke gjorde noget ved det. Traneparken har nu fået en aftale med Danfoss, der står for varmen og generelt står for overvågning. Det er dog væsentligt, at beboerne stadig ikke får korrekt information fra boligselskabet og at de generelt har mistro til boligselskabet.

4.5 Sammenligning af beregnede og opnåede besparelser for udvalgte ejendomme

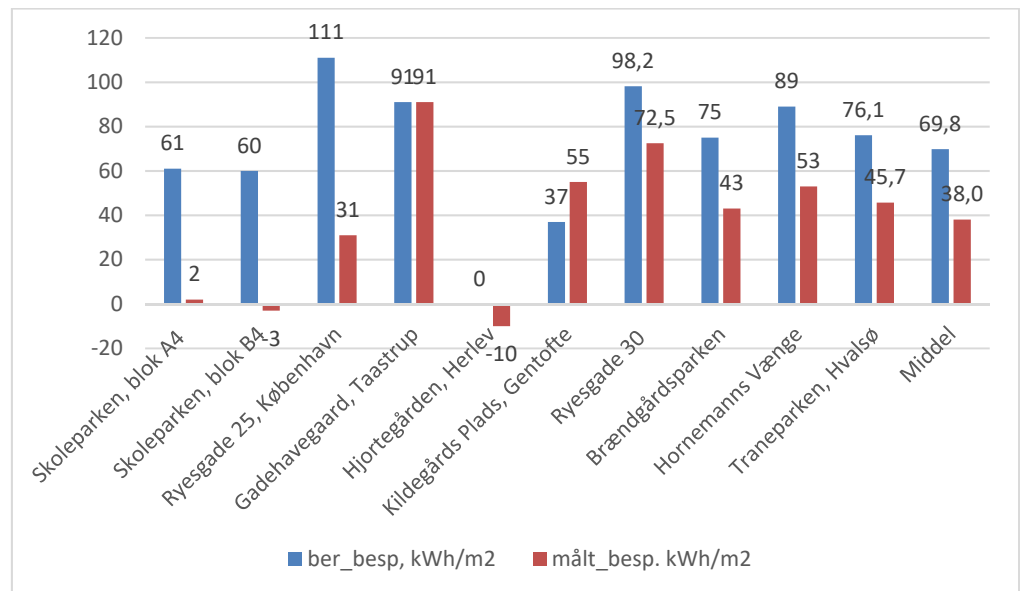
Skemaet herunder vises basisinformationer om beregnet og reelt varmekonsum i de ni ejendomme, som er beskrevet i forskellige projektrapporter. I de ejendomme, der er markeret med stjerne, er der gennemført interviews med beboere og/eller ejendomsfunktionærer om beboeradfærden efter renoveringen, som mulige årsager til diskrepansen mellem beregnede og reelle varmekonsumbesparelser.

Tabel 4.2. Resultater fra energi- og indeklimamålinger i de ni ejendomme. Målinger for Skoleparken blok A4 og B4 er opgivet separat.

	Beregnet forbrug før	Heraf op- varm- ning	varmt vand	Målt forbrug før	Heraf op- varm- ning	varmt vand	Be- regnet for- brug efter	Heraf op- varm- ning	varmt vand	Målt for- brug efter	Heraf op- varm- ning	varmt vand
Skoleparken, blok A4 *	106			108	76	32	47			106	68	40
Skoleparken, blok B4*	104			107	79	28	47			110	68	42
Ryesgade 25, København*	115	93	22	151	124	27	40	21	19	120	100	20
Gadehavegaard, Taastrup*	94	58	36	91	62	29		9			28	
Hjortegården, Herlev	106	87	19	100	98	11	100	81	19	110	102	8,4
Kildegårds Plads, Gentofte	193			200	120	80	163	112	50	145	110	35
Ryesgade 30	151,9			155,5			57,3			83		
Brændegårdsparken	170			146			71			103		
Hornemanns Vænge	119			147			58			94		
Traneparken, Hvalsø*	105,7			139,1			63			93,4		

*: I disse ejendomme er der gennemført interviews med beboere og/eller ejendomsfunktionærer

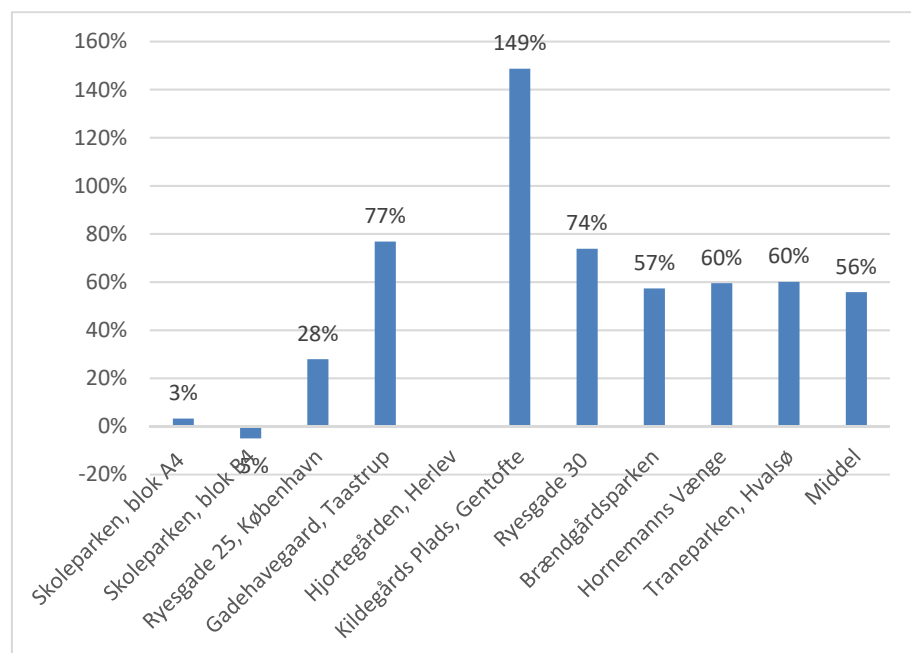
Figuren herunder viser beregnede (forventede) besparelser på varmekonsumet i forhold til de reelt opnåede besparelser for de ni ejendomme. I opgørelse af besparelserne på varmekonsumet tages der udgangspunkt i det reelle varmekonsum før renoveringen (og ikke det beregnede), som sammenholdes med hhv. det beregnede varmekonsum efter renoveringen (den teoretiske besparelse), og forskellen mellem det reelle forbrug før og efter renoveringen (de reelle besparelser). Alle tal er opgjort i kWh/m².



Figur 4.5. Beregnede og reelle varmebesparelser i de ni udvalgte ejendomme. Målinger for Skoleparken blok A4 og B4 er opgivet separat.

Som det ses af figuren er der i de fleste tilfælde opnået færre varmebesparelser end beregnet. Middelværdien for de beregnede besparelser er 69,8 kWh/m², mens middelværdien for de reelle besparelser er 38,0 kWh/m².

Den procentvise afvigelse mellem disse beregnede besparelser og reelle besparelser på varmekonsumet i de enkelt ejendomme fremgår af figuren herunder. Middelværdien for de opnåede besparelser i forhold til de beregnede/forventede besparelser er 56 %.



Figur 4.6. Reelle varmebesparelser i procent af beregnede varmebesparelser i de ni udvalgte ejendomme. Målinger for Skoleparken blok A4 og B4 er opgivet separat.

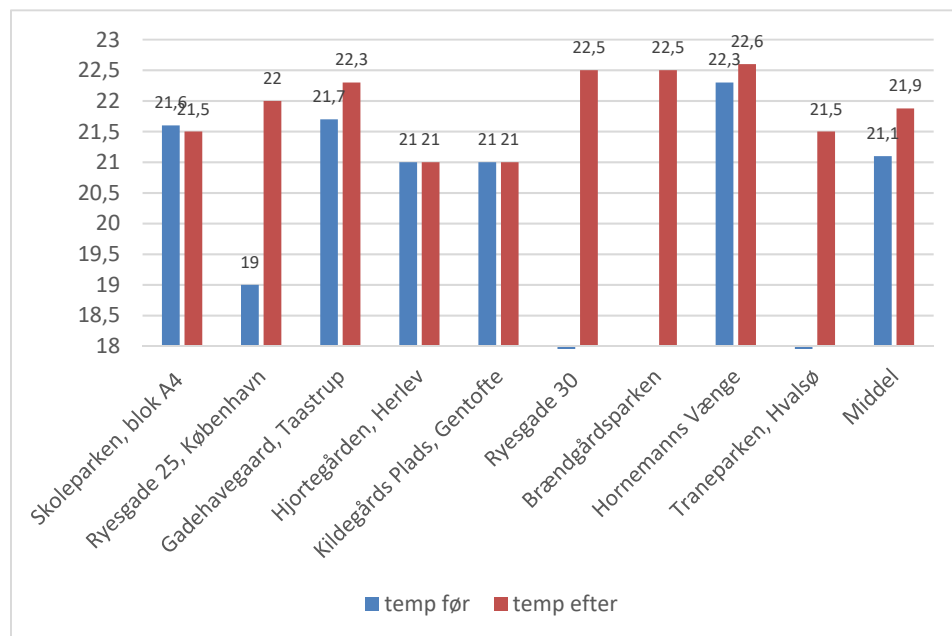
I to tilfælde har renoveringen indeholdt meget få energiforbedrende elementer (Hjortegården og Kildegårds Plads), herunder konvertering af varmekilde (Kildegårds Plads). Der er derfor kun forventet (beregnet) små besparelser på forhånd som følge af bygningsmæssige energiforbedringer, og derfor giver de reelle opnåede besparelser i forhold til de beregnede et lidt skævt billede. Ses der bort fra disse to eksempler bliver de reelt opnåede varmebesparelser 47 % i forhold til de beregnede besparelser.

Blandt de cases, som er registreret men ikke medtaget, da de ikke er afrapporteret eller der ikke foreligger tilstrækkelige målinger af forbrug og temperaturer, er der forskellige eksempler på, hvordan en renovering kan påvirke energiforbruget. Der er eksempler på, at en renovering kan øge energiforbruget i en ejendom (Wilkenbo, Frederiksberg, hvor forbruget steg fra 187 kWh/m² før renoveringen til 200 kWh/m² efter renoveringen), og der er eksempler på det modsatte, at energiforbruget falder drastisk (eksempelvis Boligforeningen Højbo i Frederikshavn, hvor forbruget er faldet fra 330.000 kWh årligt til knap 22.000 kWh årligt efter renoveringen – en reduktion på 93 %. Samtidig er vandforbruget reduceret med 40 % (oplyst af Boligforeningen Højbo)).

4.6 Vurderinger i forhold til det empiriske materiale

4.6.1 Indetemperatur

Målinger i de ni ejendomme indikerer, at beboerne efter renovering holder en højere indetemperatur end før renoveringen. I figuren herunder er vist temperaturmålinger før og efter renoveringen, samt middelværdi for alle ejendommene. Som det ses, er indetemperaturen i middel steget med 0,8 grader efter renoveringen – med variationer fra - 0,1 (Skoleparken) til + 3 grader (Ryesgade 25). Dette er dog et usikkert tal, dels fordi der er tale om relativt få ejendomme, og dels fordi målingerne typisk dækker relativt få lejligheder ud af det samlede antal. I to ejendomme har energiforbedringerne som tidligere nævnt været minimale (Hjortegården og Kildegårds Plads). Hvis man ser bort fra disse, så er middel-stigningen i indetemperatur på 1,0 grad blandt de syv ejendomme, fra før renovering til efter renovering.



Figur 4.7. Indetemperaturer i de ni ejendomme før og efter renoveringen.

Som tommelfingerregel kan der regnes med, at for hver grad rumtemperaturen øges over 20 grader stiger varmetabet (og dermed energibehovet) med godt 7 % (fra rapport om Hornemanns Vænge). En gennemsnitlig indetemperatur på 22 grader efter renoveringen medfører således et ekstra varme-forbrug på 14 % i forhold til det beregnede. Set på tværs af ejendommene udgør det ekstra varme-forbrug til øget indetemperatur mellem 1 og 12 kWh/m², og som middelværdi 8 kWh/m². Dette udgør som middel 19 % af "gabet" mellem beregnede og reelle varmebesparelser for ejendommene.

Andelen af, hvor meget en øget indetemperatur kan forklare af "gabet" varierer dog fra ejendom til ejendom, fra 9 % til 45 %.

Når målingerne indikerer en højere indetemperatur efter renoveringen kunne en årsag være, at beboerne bevidst hæver temperaturen i ønsket om en højere komfort. I forhold til varmedfærd, peger denne del af undersøgelsen dog ikke på, at beboerne har hævet temperaturen i deres lejlighed.

Flere interviewede på tværs af boligforeningerne siger, at deres termostat står på det samme som før renoveringen (Skoleparken og Traneparken). Beboerne giver udtryk for, at vinduerne er blevet tættere, og der ikke længere er træk fra dem. En beboer i en af bebyggelserne siger, at hendes eksmand bemærker, at der er en behagelig indetemperatur, når han er på besøg, og en beboer i en anden bebyggelse fortæller, at han ikke længere behøver at have en sweater på indenfor.

I et par ejendomme tales der om et dårligt indeklima før renoveringen (Ryesgade og Traneparken), hvilket også afspejles i, at det reelle før-forbrug er højere end det beregnede før-forbrug. Det er dog interessant, at temperaturen i de øvrige bebyggelser også før renoveringen er højere end 20 grader (middel 21 grader). Det tyder på, at det ikke kun er beboernes adfærd efter renoveringen som afviger fra forudsætningen om 20 grader, men også adfærden før renoveringen. Og i de tilfælde, hvor indetemperaturen er lavere end de 21 grader skyldes det formentlig, at klimaskærmen er for dårlig til at kunne give den ønskede indetemperatur. Det viser sig også i, at "pre-bound-effekten" blandt de undersøgte ejendomme er begrænset, og at beregningerne undervurderer det reelle før-forbrug med 5 %.

Selvom alle beboere på tværs af bebyggelserne generelt er tilfredse med den nuværende indetemperatur, er der enkelte undtagelser. En beboer bor i en ét-værelses lejlighed, og vil gerne have det koldt i soveområdet og lunt i stueområdet. Hun forsøger at holde temperaturen på 19-21 grader, men hvor 19 grader er godt om natten, kan det være koldt når hendes lille datter leger på gulvet om dagen. I denne bebyggelse (Gadehavegaard) har boligafdelingen bestemt, at der højst leveres varme så der kan blive 21 grader som indendørstemperatur. Dette er bestemt i forbindelse med, at afdelingen fik ny varmforsyning. Blandt de øvrige beboere er der også blandede erfaringer med at opnå den rette indetemperatur. En beboer mener, at temperaturen er helt perfekt og hun aldrig har brug for et tæppe eller en trøje, mens en anden beboer finder det alt for koldt, en oplevelse hun mente at dele med flere andre i bebyggelsen. Resultatet kan være, at de beboere som finder det for koldt, selv køber supplerende opvarmningskilder. Som eksempel havde den ene beboer købt en el-ovn, hun kunne tilslutte når det blev for koldt.

I en anden bebyggelse (Traneparken), er beboerne generelt meget tilfredse med indetemperaturen og her har man i boligselskabet besluttet, at den luft der blæses ind fra genveks-anlægget er mindst 21 grader, og herfra er det muligt for beboerne selv at tilføje varme fra radiatorerne, hvis de har ønsker om det. I den forbindelse var der ikke nogen af beboerne, der havde skruet op for radiatorerne ift. før renoveringen, og en af beboerne havde ovenikøbet ikke tændt for varmen endnu (ultimo november måned).

En faktor på tværs af bebyggelserne, er den lavere varmeregning efter renoveringen. Beboerne har oplevet en mindre huslejestigning, men der er generelt tilfredshed med dette, da de oplever en større besparelse på varme. Et eksempel er den ene bebyggelse (Traneparken), hvor der før renoveringen var en meget utæt klimaskærm, både beboere og ejendomsfunktionær beskrev indeklimaet som utilfredsstillende, det var meget svært at varme op, og dertil kom meget høje varmeregninger. Flere beboere i bebyggelsen er pensionister, og en del lever kun af deres folkepension, hvorfor den høje varmeregning var af stor betydning; fx overvejede den ene beboer at flytte kort før

renoveringen. Efter renoveringen er deres varmeregninger væsentligt lavere, i mange tilfælde halveret, og ønsket om at sænke den yderligere er ikke særlig stort, da de nu både har varmekomforten og den lavere varmeregning. Det er vigtigt at have dette med i baghovedet når der arbejdes med beboeradfærd i relation til varmebesparelser efter energirenoveringen, da beboerne har opnået en stor besparelse og høj komfort, hvorfor de kan være sværere at motivere til at gøre yderligere.

Det samme gives der udtryk for i en anden case (Ryesgade), hvor huslejen efter renoveringen er markant højere, og varmeudgifterne lavere end før, hvilket samlet set betyder at varmeudgifterne fylder meget mindre end tidligere. Dermed er den økonomiske motivation for beboerne til at spare på varmen minimal.

4.6.2 Badevaner

Ændrede badevaner i form af længere eller flere bade kan medføre et højere varmtvandsforbrug end forudsat. Dette kan kun bekræftes i et enkelte tilfælde blandt de interviewede husstande (Skoleparken), men kan i en større skala have en vis betydning. I de indsamlede cases er der eksempler på at forbruget til varmt vand øges hhv. med 8 og 14 kWh/m² (Skoleparken blok A og B), men der er også eksempler på, at det falder efter renoveringen (7 kWh/m² i Ryesgade 25, 2,5 kWh/m² i Hjortegården og 45 kWh/m² i ejendommen Kildegårds Plads). I disse eksempler kan det skyldes andre faktorer, herunder en ændret varmeforsyning, renoverede vandinstallationer, indførsel af individuel måling og afregning for varmt vand, eller en ændret beboersammensætning.

4.6.3 Ventilation og udluftning

Manuel udluftning

På tværs af de tre bebyggelser er der efter renoveringen installeret mekanisk ventilation med varmegenvinding i lejlighederne. Dette stiller nogle andre krav til beboerne ift. hvad de har været vant til, herunder at begrænse manuel udluftning. Dette fremhæves bl.a. i de vejledninger og pjecer til beboere, der er udarbejdet til beboerne.

Selvom det ikke er nødvendigt at lufte ud i lejlighederne, er det noget, beboerne på tværs af bebyggelserne stadig gør. En enkelt lufte ud en hel time om dagen og et par stykker sover med vinduet åbent, men generelt lufte beboerne ud på samme måde som de gjorde før renoveringen. Der er derfor en tendens blandt beboerne til at fortsætte de udluftningsvaner, som de praktiserede før renoveringen eller i en tidligere bolig før de flyttede ind i boligforeningen. Nogle ejendomme var før renoveringen præget af fugt og skimmel, og beboerne blev opfordret til at lufte ud flere gange dagligt. Denne praksis er de i mange tilfælde fortsat med, selvom de i nogen tilfælde godt ved, at de ikke skal gøre det i den renoverede lejlighed. Den fortsatte udluftning kan hænge sammen med manglende eller divergerende oplysninger om udluftning efter renoveringen. Enkelte beboere har fået at vide, at de ikke skal lufte ud efter renoveringen, men fortsætter, da de ellers savner den friske luft. Derudover er der også beboere i den ene bebyggelse, der har fået besked om, at de skal fortsætte med at lufte ud, hvilket de har gjort. Det er dog det generelle billede, at beboerne ikke ved nok om, at de ikke skal lufte ud og hvorfor de ikke skal lufte ud. For eksempel fortsætter en af beboerne med at lufte ud, fordi hendes børn har astma, men ventilationen kan i nogle tilfælde netop være godt, hvis man har astma.

En af ejendomsfunktionærerne er bekendt med dette, men mener ikke det i praksis gør en stor forskel for varmekonsumet i bygningen. Dette er også opfattelsen blandt de eksperter¹⁰, der er talt med; korte daglige udluftninger menes ikke at gøre den store forskel, det er først i det øjeblik, at man i længere tid har vinduer stående åbne, og særligt i de kolde perioder, at det ville kunne rykke på varmekonsumet.

Mekanisk ventilation

Andre mulige årsager til et forhøjet varmekonsum, som imidlertid ikke skyldes beboernes adfærd, er at ventilationsanlæggene i nogle tilfælde monteres mangelfuldt. Dette er der set eksempler på i Ryesgade, hvor fejl ved monteringen medførte utætte anlæg, med utilfredsstillende udluftning og et øget varmekonsum. En anden udbredt fejl er, at anlæggene ikke indjusteres, så de kører med for høj luftcirkulation. I syv af de ni ejendomme er der etableret nyt ventilationssystem ved renoveringen. I de to ejendomme fungerer ventilationen tilfredsstillende (Skoleparken og Gadehavegaard). I de resterende fem ejendomme er der indikationer af manglende indregulering og et for højt luftskifte (typisk gennem et for højt elforbrug til ventilation i forhold til det forventede).

Beboerne i de tre bebyggelser oplever ventilationen forskelligt. De har alle lagt mærke til den visuelt, fordi der er kommet en lille plade på væggen eller fordi loftet i køkkenet er blevet sænket, men det er kun enkelte der har bemærket den i det daglige og ofte kun i kort tid. For eksempel oplevede en af beboerne, at ventilationen trak og larmede, så hun kontaktede ejendoms-kontoret og fik den ordnet. Siden har hun ikke tænkt videre over den. Et lignende eksempel gør sig gældende i en anden bebyggelse, hvor ventilationen stoppede med at virke i en kort periode og beboeren så pludselig lagde mærke til, at indeklimaet var anderledes.

På tværs af bygningerne holder beboerne sig fra at røre ved eller regulere ventilationen. I en af bebyggelserne har de fået besked på at lade den være og kontakte ejendoms-kontoret, hvis der er problemer. I en anden bebyggelse er der dog usikkerhed om, hvorvidt ventilationen kan styres, da to af beboerne ikke nævner det som en mulighed, mens den tredje har fået særlige instrukser om, hvordan den skal styres (Gadehavegaard).

Det er imidlertid vanskeligt at sige, hvilke konsekvenser det har for varmekonsumet i bygningen. Der er i (Teknologisk Institut, 2018) nævnt eksempel på en ejendom, som har et luftskifte på 0,43 l/s pr m³, som er væsentligt større end de 0,13 l/s pr. m³ der er mindstekravet i BR10, hvilket medfører et øget energiforbrug på 30 kWh/m² årligt.

Herudover er der i de tekniske baggrundsrapporter for de respektive renoveringer ikke angivet, hvor stor betydning forkert indreguleret varme- og ventilationsanlæg har, eller kan have for det endelige varmekonsum. Ligeledes finder der ikke anden faglitteratur, der kan angive dette.

Set ud fra målinger af ni ejendomme kan det antages, at manglende indjustering af varme- og ventilationsanlæg udgør en stor del af de forskelle mellem forventede og reelle besparelser, der ikke kan forklares gennem inde-temperaturer, der er højere end 20 grader. For de ni ejendomme er denne "uforklarede" forskel 46 kWh/m²¹¹, og varmetab på grund af ureguleret varme- og ventilationsanlæg kan tænkes at udgøre en væsentlig del af

¹⁰ Eksperter fra Afdeling for Bygningers Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed på SBI, Aalborg Universitet

¹¹ I de ni ejendomme er der målt varmekonsum på 101 kWh/m² efter renoveringen, mens der i gennemsnit var beregnet 55 kWh/m², og et anslået ekstraforbrug på 1-12 kWh/m² på grund af højere temperatur end 20 grader efter renoveringen

dette. Det kan imidlertid også skyldes en kombination af mange forskellige faktorer (eksempelvis bygningens tæthed, varmegenvindingens energieffektivitet, ventilationsanlæggets tæthed, beboernes manuelle udluftning og andre forhold), hvilket i praksis gør det yderst kompliceret at lave målinger af. Derfor er der på nuværende tidspunkt meget begrænset viden om de energimæssige konsekvenser af varme- og ventilationsanlæggenes funktion, hvilket indebærer, at det også er vanskeligt at foretage pålidelige modelleringer af det endelige varmeforbrug, når der benyttes mekaniske varme- og ventilationsanlæg med varmegenvinding.

4.6.4 Information og viden

Generelt har beboerne fået begrænset information om deres lejlighed efter renoveringen. I to af bebyggelserne er der dog udarbejdet informationsmateriale specifikt målrettet beboerne om, hvordan man bruger boligen. I det ene tilfælde specifikt lavenergiboligen og i det andet tilfælde kombineret med mere generel information om boligen. Størstedelen af beboerne i disse ejendomme fortæller dog, at de enten ikke har læst materialet eller ikke har modtaget det. I flere af de tilfælde, hvor beboerne har valgt ikke at læse materialet eller måske ignoreret det, er der eksempler på, at beboernes adfærd strider mod anbefalingerne i materialet fx i forhold til udluftning.

Der er dog også eksempler på, at beboerne ikke har fået information fra ejendomsselskabet eller ejendomsfunktionæren ved indflytning. Særligt i den ene bebyggelse er samarbejdet mellem boligforeningen og ejendomsselskabet mindre godt og det er her, de har (ifølge beboerne selv) fået information om at lufte ud på trods af ventilationen. Derudover er der ikke eksempler på, at beboerne i de tre bebyggelser har fået mundtlig information om deres nyrenoverede lejlighed, og det har derfor langt hen ad vejen været deres eget ansvar at indhente information. Dette er der ikke mange der har gjort, men en enkelt beboer synes emnet er meget spændende, så hun har selv opsøgt viden om varmeforbrug og ventilation.

Generelt virker det til, at beboerne efter renoveringen ikke tænker meget over indeklima og temperatur, da de ikke konfronteres med træk, kulde eller fugt. Samtidig har de fået en lavere varmeregning og en højere varmekomfort, hvorfor de ikke længere har ønsket om at ændre deres varmeforbrug.

4.7 Konklusioner fra analyser af etageejendomme

4.7.1 Årsager til forskelle mellem beregnede og reelle besparelser

Set på tværs af de ovennævnte cases kan der peges på en række årsager relateret til beboeradfærd, der kan forklare forskellen på de beregnede og de reelt opnåede besparelser:

- Højere indetemperaturer efter renoveringen, end de 20 grader som oftest forudsættes i beregningerne. Dette bekræftes af data og interviews. Der er i gennemsnit 22 grader i indetemperatur efter renoveringen i de ni bebyggelser. Det betyder et øget varmeforbrug på i middel 8 kWh/m², hvilket kan forklare 19 % af forskellen på reelle og beregnede besparelser i de udvalgte ejendomme. Den højere indetemperatur kan dog ikke kun fortolkes som ændret adfærd – snarere som uændret adfærd, da beboerne opfatter, at de opfører sig på samme måde som tidligere, men opnår et bedre indeklima på grund af ændringer i klimaskærm, varmesystem og ventilation.
- Ændrede badevaner og et højere varmtvandsforbrug end forudsat: Dette kan kun bekræftes i et enkelte tilfælde blandt de interviewede husstande, men andre cases viser omvendt, at forbruget af varmt vand er faldet mar-

kant efter renoveringen, så der er ikke belæg for at sige, at ændrede badevaner er en faktor, der generelt påvirker varmekonsumet i opadgående retning.

- Fortsat udluftning, selvom det med ventilation med varmegenvinding ikke er nødvendigt. Det bekræftes i interviews at beboerne i stor udstrækning lufte manuelt ud, selvom det ikke er nødvendigt eller ønskværdigt set fra et energimæssigt synspunkt. Det er ud fra de gennemgåede cases vanskeligt at sige, hvor meget dette betyder energimæssigt. I et eksempel (Skoleparken) hvor indetemperaturen ikke øgedes efter renoveringen og hvor den mekaniske ventilation fungerede tilfredsstillende, men varmekonsumet var 21 kWh/m² højere end beregnet, blev det konstateret, at beboerne luftede meget ud – muligvis en vane der blev etableret før renoveringen, da det gamle ventilationsanlæg kørte med nedsat kraft. En del af forskellen på de reelle og beregnede besparelser kan således skyldes beboernes udluftningsvaner. Set ud fra en faglig betragtning er der imidlertid ikke grund til at tro, at almindelig manuel udluftning kan være skyld i noget stort ekstraforbrug af varme – kun exceptionel manuel udluftning i længere perioder vurderes at kunne have mærkbare konsekvenser for varmekonsumet i bygningen.

Hertil kan der tilføjes, med udgangspunkt i andre evalueringer og det indsamlede empiriske materiale:

- Fejl ved etablering af ventilationsanlæg. Dette er der set eksempler på i enkelte cases, med store konsekvenser for varmekonsumet, fx i Ryesgade 25. Her medførte et utæt ventilationsanlæg, sammen med øgede indetemperaturer, et varmekonsum efter renoveringen, der var fire gange så stort som beregnet.
- Manglende indregulering af ventilationsanlæg efter renovering, hvilket kan medføre et for højt luftskifte, som medfører et højere energiforbrug. Dette har potentielt stort betydning for varmekonsumet i ejendommene, men der findes p.t. ingen faglig vurdering af, hvor stor denne andel er, eller kan være.
- I flere ejendomme er der ikke lukket for varmen om sommeren, hvilket er en antagelse i energiberegningen. Det giver et for lavt udgangspunkt for før-beregningen. Dette er dog ikke relevant når før-opgørelsen tager udgangspunkt i det reelle forbrug.
- Der kan være ændringer i de faktiske renoveringer i forhold til det projekterede, som beregningerne er foretaget på grundlag af.
- Bygningens tæthed: Når bygningerne ikke lever op til tætheden som foreskrevet i BR10, men i stedet har en tæthed som målt i de pågældende bygninger, medfører det et øget forbrug til opvarmning på en faktor 2,5.
- Manglende kompetencer blandt rådgivere ved udregning af besparelspotentialer, og desuden et behov for forbedrede beregningsmetoder. Der peges i forskellige sammenhænge på, at beregningsmetoderne ikke er tilstrækkeligt udviklede, eller bruges forkert af rådgiverne, hvilket er med til at skabe falske forhåbninger blandt bygherrer og beboere.

Som mulige løsninger på, hvordan man kan ændre beboernes vaner og adfærd, kan der på baggrund af materialet peges på forskellige muligheder, som har været afprøvet eller overvejet:

- Fastsættelse af en maksimal indetemperatur (som i Gadehavegaard): Dette opleves af nogle beboere som værende for koldt (21 grader), og som et indgreb i ens personlige frihed. Det kan have den konsekvens, at beboerne benytter supplerende varmekilder (elovne etc.).
- Bedre skriftlig information (som eksempelvis pjecer udviklet af TI, eller særskilt pjece som i Gadehavegaard): Det er svært at nå beboerne med skriftlig information, selvom det foreligger, hvilket eksemplet fra Gadehavegaard viser. Selvom beboerne får læst pjecen er der også eksempler på, at man vælger at overse den, særlig når det handler om udluftning.

- Bedre information ved indflytning (Ryesgade overvejelser), herunder information til beboerne. Det kan ske i forbindelse med rundvisning ved indflytning. Dette forudsætter dog, at de rette kompetencer og ressourcer er tilstede i organisationen, hvilket er usikkert om det er tilfældet.
- Målrettet information til beboerne om deres forbrug: Erfaringer fra projekterne Brændgårdsparken og Hornemann Vænge viser dog, at udbyttet af kampagnerne var begrænset.

5. En kvantificering og kvalificering af det realistiske potentiale for besparelser

5.1 Hvad er potentialet for varmebesparelser reelt?

I den stillede opgave for denne rapport skriver Energistyrelsen:

”Her skal det kvantitativt vurderes, hvad de nuværende adfærdsændringer og andre påvirkninger fra beboere ved renovering vil have af betydning for at nå de potentielle varmebesparelser på 30 %, hvis disse faktorer fremover er *uændret* i karakter og omfang. Der ønskes en kvantitativ vurdering delt op på de enkelte konkrete områder, der måtte begrænse realiseringen af varmebesparelsepotentialet ved renovering”.

Et væsentligt formål med denne rapport er altså at svare på, hvor stort et potentiale der realistisk set er for energibesparelser i danske boliger, når der tages højde for ændret beboeradfærd m.m. De 30 % der nævnes som det potentielle besparelsepotentiale kommer som tidligere nævnt fra en SBI-rapport, der har vurderet potentialet for varmebesparelser i den eksisterende bygningsmasse ud fra tekniske beregninger (Wittchen et al., 2017). Når vi skal vurdere, hvor stor en andel af disse 30 % det er realistisk at nå, må vi se på, hvilke antagelser der, i denne rapport, er lagt til grund for beregningerne i forhold til beboernes adfærd før og efter renovering.

5.1.1 Hvordan er det tekniske potentiale fremkommet

Til beregning af det potentielle besparelsepotentiale skal der bruges et forbrug før renovering og et forbrug efter renovering. Jævnfør begrebsafklaring i kapitel 2 samt figur 2.2, kan forbruget før enten være det reelt målte forbrug eller et teoretisk beregnet forbrug. Forbruget efter renovering vil i alle tilfælde være et teoretisk beregnet forbrug, der inkluderer standardantagelser om temperatur og luftskifte i boligerne, uagtet at disse i praksis vil afhænge af husstandens konkrete adfærd. For SBI-rapporten er der valgt en kombination af de to metoder til at bestemme forbruget før renovering. For at opnå et mere realistisk besparelsepotentiale ønskes der at tage udgangspunkt i det reelle energiforbrug før renovering, og dette gøres ved at relatere til det nationale forbrug, der er kendt fra energistatistikken. Det er således i beregningen af forbruget før renovering antaget, at der holdes forskellige temperaturer i den eksisterende bygningsmasse afhængig af bygningernes energistandard, varierende fra 19 til 21 grader (Wittchen et al., 2017, pp. 9–10). Dette er en antagelse baseret på et skøn samt på en regneteknisk kalibrering af det beregnede forbrug før renovering i forhold til det, der er kendt i energistatistikken. Hvilke temperaturer der faktisk er i danske boliger vides ikke. Luftskiftet er et andet forhold, som afhænger af boligtypen og brugen af den, herunder hvordan beboerne åbner og lukker vinduer, men dette varieres der ikke på i beregningsforudsætningerne for forbruget før renovering. Beregningerne forudsætter altså, at temperaturerne varierer mellem boligtyper, men de medtager ikke, at der også må forventes at være forskellige (og typisk højere) temperaturer i boligerne efter renovering.

5.1.2 Korrektion af det tekniske beregnede potential

I det gennemførte litteraturstudie i kapitel 2 peges der på at 20-60 % af det teknisk beregnede potentiale ikke kan forventes opnået. I kapitel 3 om parcelhuse peges der på, at i størrelsesordenen 50-80 % af det tekniske potentiale ikke opnås i de parcelhuse der indgår i undersøgelsen, og i kapitel 4 om etageboliger angives der, at i et spænd på 28 % til 74 %, med et gennemsnit på at 47 % af de beregnede besparelser ikke opnås i praksis. For etageboliger vurderes et relevant spænd på denne baggrund at være 30-70 %. I tabel 5. 1 er disse værdier samlet, idet der noteres at spændvidden også repræsenterer, at der er betydelig usikkerhed bag tallene.

Tabel 5.1 Sammenstilling af procentvise andele af teoretisk besparelse der ikke nås ved renoveringer. Procentsatserne er forbundet med væsentlig usikkerhed.

Bygningstype og metode	Andel af teoretisk besparelse der ikke opnås
Alle boligtyper fra litteraturreview	20-60 %
Parcelhuse fra spørgeskemaanalyser kapitel 3	50-80 %
Etageboliger fra kapitel 4	30-70 %

Det kan diskuteres om disse procentsatser er sammenlignelige med det beregnede 30 % besparelspotentiale i danske boliger. Som vist i kapitel 2, så beregnes teoretiske besparelser nogle gange med udgangspunkt i reelle før-forbrug, og nogle gange med udgangspunkt i beregnede før-forbrug. Som beskrevet ovenfor er de 30 % besparelspotentiale i danske boliger fremkommet med en metode, der blander et beregnet og et reelt før-forbrug. Herudover er nogle af resultaterne i kapitel 2 samt resultater i kapitel 3 fremkommet ved antagelser om sammenlignelige huse fremfor ved at se på konkrete før og efter situationer på samme bolig. Endelig er det i nogle af de rapporterede cases i kapitel 4 ikke entydigt, hvorvidt der tages udgangspunkt i et beregnet eller et reelt før-forbrug. Det betyder, at de fundne procentsatser i kapitel 2, 3 og 4 ikke alle entydigt kan sammenlignes med de 30 % besparelspotentiale. Da de 30 % er fremkommet ved en metode, der ligger imellem de to andre anvendte metoder, og da der i øvrigt regnes med store spændvidder i de fundne procenter for, hvor stor en besparelse der opnås, vurderes det samlet set, at det er relevant at sammenligne procentsatserne, idet der samtidigt inkluderes spændvidder i de fundne resultater.

Fremfor at antage et rentabelt besparelspotentiale i danske boliger på 30 % af det nuværende forbrug, skal dette reduceres med de procentsatser der er angives i tabel 5.1. Idet der laves en forsigtig vurdering på tværs af data i tabel 5.1. vurderes det at **40-60 % af det teoretisk beregnede besparelspotentiale ikke reelt opnås. Dermed er det kun et besparelspotentiale på ca. 12-18 % af det samlede nuværende varmekonsum**, der kan forventes ved renovering, hvis der udskiftes bygningsdele løbende i bygningernes levetid som beskrevet i (Wittchen et al., 2017). På baggrund af de analyser der er lavet i denne rapport, vurderes det, at der ikke kan gives et mere præcist bud end hvad dette spænd indikerer.

Det er vigtigt at understrege, at en væsentlig grund til, at der er så store variationer i forskellen mellem den teknisk beregnede og den reelt opnåede besparelse, skal ses i sammenhæng med at den metode der bruges til teknisk at bestemme et besparelspotentiale er upræcis. Metoden er ikke beregnet til at forudsige reelle energiforbrug, men til at sammenligne bygninger under ideale homogene betingelser. Dette hænger bl.a. sammen med, at metoden baserer sig på standardforudsætninger om luftskifte og temperaturforhold, som har overordentlig stor betydning for resultatet, og som der samtidigt er ringe viden om hvorvidt disse faktisk varierer og med hvilke faktorer, ud over at den konkrete brug af boligen har stor indflydelse på dette.

5.1.3 Årsagerne til at det tekniske potentiale ikke nås

Opgaven, som stillet af Energistyrelsen, lægger vægt på den betydning som beboernes adfærd har for, at de beregnede besparelser ikke opnås. Som beskrevet i de tidligere kapitler er der imidlertid andre faktorer som har betydning, og det kan være svært at skelne disse fra beboernes adfærd, dette gælder blandt andet for temperaturforhold og luftskifte.

Der er bred enighed om, at **højere temperaturer** er en væsentlig del af forklaringen. Et reviewstudie angiver dog, at temperaturforskelle før og efter kun kan forklare 20 % af den manglende besparelse i forhold til det tekniske estimat (Sorrell et al., 2009). Analyser af etageboliger i kapitel 4 peger på, at der oftest er over de 20 grader, som indgår i tekniske standardberegninger, både før og efter renovering. Generelt vides det, at hvis temperaturerne øges med en til to grader, så kan dette forventes at betyde at varmekonsumet stiger med 7-14 %. I etageboligerne i kapitel 4 beskrives der i gennemsnit en temperaturstigning på 1 grad efter renovering. Det beregnes for de gennemgåede ejendomme, at omkring 19 % af den manglende besparelse kan forklares ved, at temperaturen generelt er højere efter en bolig er renoveret. Dette underbygger, at temperaturstigninger i boligen ikke kan forklare hele forskellen mellem beregnet og opnået besparelse, men udgør en væsentlig andel. Det er desuden vigtigt at fremhæve, at højere temperaturer ikke nødvendigvis er et bevidst valg fra beboerne side, eller at beboerne oplever, at de har ændret adfærd. Hvis beboernes radiator står på samme indstilling som tidligere, så vil en energirenoveret bolig levere en højere inde-temperatur, og de fleste beboere oplever også øget varmekomfort uden at de oplever, at de har ændret adfærd.

Som beskrevet i litteraturstudiet i kapitel 2, så kan højere temperaturer også forekomme ved, at en større del af boligen opvarmes, fx at en tidligere uopvarmet kælder eller havestue inddrages som opvarmet areal, eller at et tidligere ubrugt, ekstra værelse nu bliver opvarmet, uden at noget af dette vil påvirke de officielle beregninger af boligens areal. Energiforbruget per kvadratmeter vil derfor alt andet lige blive større. Et andet forhold der hænger sammen med højere temperaturer er spørgsmålet om, hvornår varmesæsonen påbegyndes. Begge disse forhold vurderes at være mere relevante i parcelhuse, hvor der dels er større arealer som tidligere kan have været uopvarmet, og hvor det i højere grad er husstanden selv, der bestemmer tidspunktet for fyringssæson. Det er ikke muligt på baggrund af analyser fremkommet i kapitel 3 at angive, hvor stor en andel af de manglende besparelser der kan henregnes til disse forhold. Et beregningsoverslag kan indikere en størrelsesorden: I et parcelhus, hvor en femtedel af arealet (fx en del af kælderen samt et værelse) før renovering kun har været opvarmet til 16 grader, og hvor det efter renovering ændres til at blive opvarmet til 21 grader, vil dette give anledning til at ca. 7 % øget energiforbrug, idet de 5 grader øget temperatur giver et ekstraforbrug på ca. 35 %, men kun for en femtedel af boligen. Dette eksempel indikerer altså, at opvarmning af tidligere mindre opvarmede eller ikke opvarmede rum, kan betyde lige så meget for varmekonsumet som generelt at hæve temperaturen i boligen 1 grad. At en femtedel af boligen ikke har været opvarmet før renovering og bliver det efter renovering, antages at være i den øvre ende af, hvad der forekommer og i mange renoveringer vil det slet ikke forekomme. Opvarmning af et større areal i boligen vurderes på denne baggrund til maksimalt at kunne forklare 5-10 % af den manglende opnåede besparelse.

En boligs **luftskifte** afhænger dels af beboernes udluftningsvaner, dels af boligens ventilationssystem. Hvis en bolig har mekanisk ventilation og dette system ikke fungerer som tilsigtet, kan det betyde energitab som kan forklare dele af de manglende forventede besparelser. Det er særligt ved renoveringer i etagebebyggelser, at dette forventes at være et problem, samt evt.

ved dybe renoveringer og nybyggeri af parcelhuse. Bygningen kan være såvel over- som underventileret på grund af fejl eller manglende indregulering af systemer, hvor det sidste kan give indeklimaproblemer og det første kan medføre energitab. I sådanne tilfælde kan man ikke tale om, at det er beboernes adfærd, der er årsag til forskellen mellem beregnet og opnået besparelse. En tilhørende problemstilling er, at flere studier tyder på, at beboerne ikke ændrer udluftningsvaner i forbindelse med en renovering af deres bolig. Dette kan give anledning til unødigt energiforbrug, idet en renoveret bolig med mekanisk ventilation og varmegenvinding ikke behøver udluftet gennem åbne vinduer. Denne problemstilling vedrører igen primært etageejendomme, da det primært er her, vi ser disse ventilationsløsninger i forbindelse med renovering. Det kan ikke opgøres præcist, hvor stor en procentdel af de manglende besparelser der vedrører dette forhold. Generelt antages det ikke, at der er et stort varmetab i forbindelse med udluftning, medmindre der er tale om, at vinduer står åbne hele dagen. I de tilfælde, hvor varme- og ventilationssystemer hænger sammen og reguleres sammen, vil mangelfuld indregulering af systemet kunne have betydning for både ventilationstab og andet energitab. Dårligt indregulerede varme- og ventilationssystemer angives ofte at være en del af forklaringen på, at energiforbruget i renoverede boliger er højere end forventet (NIRAS, 2013; Teknologisk Institut, 2018). Der er imidlertid i disse rapporter ingen angivelser af konkrete andele af, hvor meget det betyder. Et tysk studie viser, at dårlig indregulering og forkert beboeradfærd medførte, at der først slet ingen besparelse var efter renovering, og at der efterfølgende med indregulering af systemer samt kommunikation opnåedes besparelser således at forskellen mellem beregnet og opnået blev halveret (Cali et al., 2016). I dette enkeltstående, og måske ekstreme, tilfælde var det således op til halvdelen af den manglende besparelse der vedrørte manglende indregulering af tekniske systemer i kombination med kommunikation til beboerne. På denne baggrund laves der her et forsigtigt skøn, der angiver at 10-20 % af den manglende besparelse i etageboliger kan hidrøre fra dårligt indregulerede systemer.

Varmt brugsvand antages at stå for 15-40 % af en bygnings varmebehov; i energieffektive bygninger udgør varmt vand en større andel af det samlede forbrug – i ikke-effektive bygninger udgør det en mindre andel. Umiddelbart vil man kun forvente, at varmtvandsforbruget ændrer sig på grund af en renovering af boligen, hvis denne inkluderer effektivisering af varmtvandsanlægget, og i så fald at forbruget falder. Der er dog i både kapitel 3 og 4 eksempler på, at forbruget også kan stige. Dels må det forventes, at hvis en renovering af en bolig omfatter etablering af badeværelser i boliger, som ikke tidligere havde badeværelser, så stiger forbruget til varmt brugsvand. Da de fleste boliger i Danmark i dag har badeværelser, omhandler dette potentielt kun en meget lille andel af boligerne. En anden problemstilling blev fremhævet i et af casestudierne, hvor der tidligere var dårlig udluftning på badeværelset og problemer med skimmelsvamp som følge heraf. Dette betød, at beboerne tidligere stort set ikke havde taget bad derhjemme, men efter renoveringen fungerede udsugningen som den skulle, og dermed blev det væsentligt mere attraktivt at bade hjemme, hvorfor deres varmtvandsforbrug steg betydeligt. I kapitel 3 vedrørende parcelhuse peger analyserne på, at der i nogle boliger ses, at der tages flere bade per beboer i huse, der er energieffektiviseret sammenlignet med parcelhuse der ikke er. Forklaringen tænkes her at hænge sammen med, at parcelhusene, samtidigt med energieffektiviseringen, også kan have fået nyt og måske et ekstra badeværelse, som gør det mere attraktivt at bade hjemme og at bade mere og længere. Samlet set, og på tværs af alle danske boliger, vurderes det dog at øget brug af varmt vand kun udgør en lille del af forklaringen på forskellen mellem det beregnede og den opnåede besparelse. I de enkelte boliger, hvor der, som her beskrevet, er særlige forhold, kan det dog udgøre en større andel.

Tabel 5.2: Anslåede værdier for hvor stor en andel af den forventede besparelse der ikke opnås som følge af forhold relateret til beboernes adfærd og andet. Anslående værdier er baseret på skøn på baggrund af de gennemførte analyser og litteraturgennemgang. Værdierne er behæftet med betydelig usikkerhed. Værdierne skal ses som et nationalt gennemsnit og ikke som nogle, der gælder for hver enkelt bygning, og værdierne kan ikke forventes at summere op til 100 %

Årsag	Parcelhus	Etagebolig
Øget rumtemperatur	Ca 20 %	Ca. 20 %
Ændring i opvarmet areal	5-10 %	Under 5 %
Ændring i fyringssæson	Vides ikke, næppe stort	Vides ikke, næppe stort
For stort luftskifte/udluftning	Vides ikke, næppe stort	Vides ikke, næppe stort
Indregulering af varme og ventilation	Vides ikke, næppe stort	Skønnet til ca 10- 20 %
Øget brug af varmt vand	Under 5 %	Under 5 %

I denne oversigt tager vi udgangspunkt i at forklare en forskel mellem en teknisk beregning og et reelt forbrug. Det er her uhyre vigtigt at være opmærksom på, at den tekniske beregning ikke kan forventes at afspejle virkeligheden. Ovenstående tabel må således ikke tolkes som, at hvis beboerne ikke ændrede adfærd og teknologien virkede som tilsigtet, så ville de beregnede besparelser blive nået. En del af forklaringen på diskrepansen vedrører således også beregningstekniske forhold. Danmark er her på linje med andre sammenlignelige nordeuropæiske lande, både i forhold til at denne type tekniske beregninger bruges i energipolitisk sammenhæng til at beregne besparelspotentialer, og i forhold til at der både i byggesektoren, blandt de forskere der laver beregningerne og blandt embedsværket er en begyndende forståelse for begrænsningerne ved at bruge disse tekniske beregningsmodeller til at estimere besparelspotentialet.

En yderligere problemstilling relaterer til den byggefaglige udførelse af renoveringen. Hvis den renoverede bygning har kuldebroer og utætheder, som følge af den måde renoveringen håndværksmæssigt er udført på, og som ikke indgår i beregningerne, må dette også forventes at give væsentlige forskelle mellem teoretisk beregnede og reelt opnåede besparelser.

5.2 Ny fremtidig beboeradfærd og anden potentiel positiv effekt

I den stillede opgave for denne rapport skriver Energistyrelsen:

”Her skal det identificeres, hvad beboerne kan gøre anderledes i fremtiden for at realisere varmebesparelspotentialet ved renovering, f.eks. nye adfærdsændringer, handlemønstre o.l. Der ønskes en kvantitativ vurdering af effekten af hver af de foreslåede nye adfærdsændringer og handlemønstre o.l. Der må gerne foreslås nye adfærdsændringer og handlemønstre o.l. som kan øge varmebesparelspotentialet udover det beregnede i nævnte undersøgelse fra SBI.”

I besvarelsen af dette spørgsmål tages udgangspunkt i den ovenfor listede oversigt over beboernes ændrede adfærd og andre forhold, og hvor stor en effekt hvert forhold kan forventes at have for, at den forventede besparelse ikke opnås.

5.2.1 Hvad kan der realistisk ændres på?

Som det ses i tabel 5.2, så er det særligt højere temperaturer i både etageboliger og parcelhuse, der forventes at bidrage til at den potentielle besparelse ikke opnås. Et andet potentielt væsentligt område vedrører indregulering af varme og ventilationssystemer i de renoverede bygninger. I det følgende vil det blive diskuteret, hvad der realistisk kan forventes gjort for at imødekomme disse forhold.

Dårlig indregulering af varme- og ventilationssystemer:

- Dette gør sig primært gældende i større bygninger, dvs. etageejendomme. Dette er noget der bør ændres, da det er et decideret varmespild, der ikke kommer noget øget komfort ud af – tværtimod. Spørgsmålet er, hvor ansvaret kan placeres og hvad man politisk kan gøre.
- Dette problem er i øvrigt identisk med tilsvarende problemer ved nybyggeri, og løsninger omkring at indføre commissioning bør i begge tilfælde undersøges.
- Dette problem er formodentlig størst lige efter en renovering eller ved nybyggeri, men bl.a. fjernvarmeselskaber rapporterer om løbende dårligt indregulerede systemer, som medfører uforholdsmæssig stor efterspørgsel efter energi.
- Ud over indregulering ved ibrugtagning skal der derfor også være mulighed for løbende at følge op på systemerne. Overvejelser omkring facility management bliver inddraget i næste afsnit om mulighederne for at bruge styring og regulering til at opnå flere besparelser på dette område.

Korrekt indregulering af varme- og ventilationssystemer, og hvilke energibesparelser der her kan opnås, hænger også sammen med beboernes adfærd i forhold til systemet. Det er imidlertid en kommunikationsopgave at forklare beboerne, såvel som varmemestrene i de renoverede bygninger, omkring dette. Omvendt, hvis systemerne ikke fungerer som tilsigtet, er det nødvendigt at beboerne selv lufter ud for at opnå et sundt indeklima. Commissioning, facility management og beboerinformation bør således ses i sammenhæng i forhold til at opnå de potentielle energibesparelser og et sundt indeklima. Kommunikation omkring korrekt udluftning skal derfor gerne gives i forbindelse med renoveringen af den konkrete bolig, eller i forbindelse med indflytning i den konkrete bolig.

En mindre del af den manglende energibesparelse i forbindelse med energirenovering kan hænge sammen med et øget forbrug af **varmt vand** efter renovering. I de tilfælde hvor dette hænger sammen med at badeforhold tidligere ikke har været til rådighed, været utidssvarende eller ikke velfungerende, således at beboerne har badet andre steder end hjemme, er det øgede forbrug ikke noget, der hverken kan eller skal forsøges påvirket. Spørgsmål om befolkningen generelt bruger mere varmt vand til karbade og flere daglige bade nu i forhold til tidligere, hænger ikke sammen med spørgsmål om energirenovering af boliger og manglende besparelser ved renovering, men handler om generelt ændret livsstil, og indgår derfor i diskussionen nedenfor omkring sufficiency.

Et væsentligt forhold til at forklare den manglende realiserede besparelse er **ændrede temperaturer**. For dette forhold skal der skelnes mellem:

Tilfælde hvor den højere temperatur er forståelig og forventelig, og ikke kan eller bør ændres:

- Hvis der tidligere har været meget lave temperaturer, således at temperaturstigningen svarer til at indetemperaturer kommer op på, hvad der kan opfattes som normale komforttemperaturer fx 21 grader.
- Tilfælde hvor den højere temperatur skyldes bygningstekniske ændringer som beboerne ikke har indflydelse på, såsom at afværge træk og kuldedanfald, men som medfører en værdsat komfortforbedring

Tilfælde hvor den højere temperatur kan søges påvirket:

- Hvor der grundet manglede forståelse af energisystemet opnås højere temperaturer end ønsket.
- Hvor der opvarmes væsentligt større arealer end tidligere og til forholdsvis få personer.
- Hvis der opvarmes rum, der ikke bruges

- Hvis der opvarmes til meget høje indetemperaturer fx over 23 grader?

I de tilfælde hvor beboerne har højere temperaturer end ønsket, og hvor de eksempelvis regulerer varmen ved at åbne vinduer, kan problemet ses i sammenhæng med, at varme- og ventilationssystemer formodentlig er dårligt indreguleret og dårligt kommunikeret til bygningsansvarlige og beboere.

5.2.2 Hvad er et rimeligt komfortniveau?

Der er således en andel af den manglende besparelse vedrørende øgede temperaturer, som ikke kan forventes påvirket. De andre forhold om øget opvarmning relaterer til spørgsmål om, hvad en rimelig indetemperatur er, samt hvor stort et boligareal, det er rimeligt at have. Det er altså mere moralsk prægede spørgsmål, som man ikke i de seneste årtier har ønsket at forholde sig til energipolitisk, idet fokus har været på at forbedre energieffektiviteten af boliger og teknologier. Tilbage under oliekrisen i 1970'erne inkluderede energipolitikken også råd om fx at begrænse antallet af karbade og længden af brusebade. Inden for energiforskningen taler man om, hvorvidt sufficiency, spørgsmålet om hvornår noget "er nok", også skal være en del af energipolitikken (Bierwirth and Thomas, 2019).

Der er i de seneste årtier gennemført energieffektivisering i bygningsmassen i form af nybyg og renovering, uden at dette har givet anledning til et nævneværdigt fald i det samlede energiforbrug til opvarmning af boliger, jvf energistatistikken. Dette kan forklares ved, at danskerne samtidigt har fået væsentligt større boliger og flere kvadratmeter opvarmet bolig per person. På trods af at mere end 40 % af alle husstande i Danmark i dag består af kun en person, bygges der stadigt større boliger, og opvarmet areal per dansker er i dag mere end 57 m² (Gram-Hanssen et al., 2018). Hvis man skal opnå markante energibesparelser i boligsektoren, er det relevant at overveje, hvorvidt man også politisk skal forholde sig til, hvad en rimelig temperatur og et rimeligt boligareal er, og så forsøge at påvirke borgerne til at forholde sig til dette. Det kan fx være gennem kampagner eller skattepolitik. Hvorvidt man ønsker at inddrage sufficiency i dansk energipolitik er et politisk spørgsmål. Hvis dette spørgsmål ønskes inddraget energipolitisk, og hvis det lykkes politisk at ændre på, at befolkningen ikke altid ønsker større opvarmet areal og højere temperaturer, samt evt. lange og mange bade, så er der et forventeligt stort besparelspotentiale her.

Der er i befolkningen for tiden et vist momentum for at gøre noget for klimaet, så det er formodentlig et godt tidspunkt at rejse denne diskussion, og det kan være relevant at italesætte problemstillingen. I de seneste år har der været en tendens til ikke at italesætte problemstillingen fra politisk side, eller fra de der skal fremme energieffektiviseringen af boligmassen. Fx har man forsøgt at fremme udbredelsen af effektive teknologier og renoveringer ved at fremhæve den øgede komfort, som teknologierne og bygningerne kan give. Hermed har man ofte lovet forbrugerne, at de både får bedre komfort og energibesparelser, fremfor at fremhæve at man får højere energibesparelser ved ikke at efterspørge stadig højere komfort.

Spar kolde kontanter på varmeregningen

- og nyd et lunt sommerhus året rundt

5 års totalgaranti

Gevinst på elregning, indeklima og miljø:

- ✓ Spar op til 66 % på varmen
- ✓ Tørt og behageligt indeklima
- ✓ Forlæng sæsonen energivenligt
- ✓ Spar miljøet for CO₂-udslip
- ✓ Pumpen er velegnet til det danske klima
- ✓ Kan bruges som aircondition

De gode argumenter for at installere en Danmarkspumpe i sommerhuset står nærmest i kø. Spar op til 66 % på dine varmeudgifter sammenlignet med el-opvarmning. Få et behageligt indeklima uden lugt, fugt og risiko for skimmelsvamp. Vi giver 5 års totalgaranti på varmepumpe og installation.

Danmarkspumpen fra Lokaleenergi sænker din energiludgift til opvarmning med op til 66 %. Det er godt nyt både for budgettet og miljøet. Varmepumpen sikrer samtidig en grundtemperatur på minimum 8°, når huset ikke benyttes i den kolde periode. Lokaleenergi sørger for en komplet installation med 5 års totalgaranti. Anlægget leveres afprøvet og klar til drift.

Figur 5.1: Eksempel på reklame for en energieffektiv teknologi, hvor reklamen samtidig opfordrer til at omsætte en del af den forventede energibesparelse til øget komfort.

Et eksempel på dette ses i Figur 5.1 i en reklame for varmepumper, som opfordrer til at varme sommerhuset op hele året, samt bruge varmepumpe til air-conditioning. Et forskningsprojekt viste efterfølgende, at nogle sommerhusejere forøgede deres energiforbrug efter installation af en varmepumpe, primært fordi de gik fra at have lukket helt for varmen om vinteren, til at holde temperaturen på over 10 grader året rundt, og i gennemsnit opnåede sommerhusejerne ikke nogle besparelser (Gram-Hanssen et al., 2012). En anbefaling er derfor, at kommunikation og kampagner for energieffektivisering skal være opmærksom på ikke indirekte at fremme højere komfort og dermed gå imod sufficiency dagsordenen. Når man taler om "non-energi benefits", kan man fx let komme til at bruge komfortargumenter til at "sælge" energieffektiviseringer, og denne kommunikation bør være afbalanceret i forhold til ikke at fremme nye ønsker til komfort.

Sammenfattende gælder det således for de forskellige årsager til de manglende besparelser, at det er forskelligt, hvilke af dem, og hvor store andele af dem, det er realistisk at forsøge påvirke og evt. helt afværge.

Tabel 5.3: Denne tabel inkluderer anslåede procentdele fra tabel 5.2 for hvor stor en andel af den manglende besparelse som kan forklares med hvilke forhold, og for hvert forhold angives et skøn for hvor stor en andel, som der realistisk kan undgås.

Årsag	Parcelhus	Etagebolig
Øget rumtemperatur	Udgør ca. 20 % Højst en femtedel af disse skønnes at kunne påvirkes da beboerne ofte ikke har ændret adfærd og ikke er bevidst om temperaturerne, men værdsætter øget komfort	Udgør ca. 20 % Højst en femtedel af disse skønnes at kunne påvirkes da beboerne ofte ikke har ændret adfærd og ikke er bevidst om temperaturerne, men værdsætter øget komfort
Ændringer i opvarmet areal	Ca. 5- 10 % Del af sufficiency spørgsmål om dette kan ændres	Under 5 % Primært i forbindelse med inddækning af altaner. Formodes ikke at kunne påvirkes.
Ændringer i fyringssæson	Vides ikke, næppe stort. Del af sufficiency spørgsmål	Vides ikke, næppe stort
Manuel udluftning sammen med mekanisk	Vides ikke, næppe stort	Vides ikke, næppe stort
Øget brug af varmt vand	Under 5 % Del af sufficiency spørgsmål om dette kan ændres	Under 5 % Formodes ikke at kunne ændres, hvis stigningen skyldes mangler før renovering
Dårlig indregulering af varme og ventilationssystemer	Lille andel af parcelhuse	15 %. Hovedparten af dette bør kunne fjernes, da der er tale om uønsket spild

Ud fra skønsvise kvantificeringer i tabel 5.3 ses det, at ud af de ca. 20 % af den ikke opnåede energibesparelse, som vedrører højere temperaturer, tænkes (højt sat) at en femtedel kan påvirkes, svarende til, at den manglende besparelse nedsættes med i størrelsesordenen 4 %. De 15 % der skønnes at blive spildt ved dårligt indregulering og forkert brug af varme- og ventilationssystemer, antages (højt sat) helt at kunne undgås, da der her er tale om et varmetab, som ingen værdsætter (i modsætning til øgede temperaturer, som beboerne værdsætter). Da varmetab ved manglende indregulering kun vedrøre etageboliger, som rundt regnet står for en fjerdedel af boligens varmebehov, er det kun en fjerdedel af de 15 %, der kan reduceres med, altså ca. 4 %. Tidligere har vi konkluderet, at 40-60 % af det teoretiske besparelspotentiale ikke nås. Hvis vi optimistisk siger, at der sættes ind for, at beboerne ikke hæver temperaturerne og at varme- og ventilationstab fra dårlig indregulering fjernes, er det altså (højt sat) samlet set 8 % af den beregnede besparelse, som herved alligevel kan antages opnået. Vi estimerer hermed, ved yderligere tiltag, at det kun er 32- 52 % af det teoretiske potentiale, der ikke kan forventes nået. Dette svarer til, at 48-68 % af den teoretiske besparelse kan forventes opnået.

Med udgangspunkt i rent tekniske beregninger er der fremsat, at boligens varmeforbrug kan reduceres med 30 % (Wittchen et al., 2017). Tidligere i denne rapport er der opsummeret, at kun 40-60 % af det teknisk beregnede besparelspotentiale kan forventes opnået, hvilket svarer til at 12-18 % af bygningens varmebehov kan reduceres. Ved yderligere tiltag er det her estimeret, at op til 48-68 % af det tekniske besparelspotentiale kan indfries.

Fremfor at forvente, at 12-18 % af energiforbruget til boligopvarmning kan reduceres, foreslår disse analyser at det er op til 14-20 %¹² af det nuværende energiforbrug til boligopvarmning, som kan spares ved energirenoveringer, hvis yderligere tiltag iværksættes.

¹² 0,48*30 og 0,68*30 svarende til 14,4-20,4 % afrundet til 15-20 %

5.3 Potentialet for styring og regulering

I den stillede opgave for denne rapport skriver Energistyrelsen:

"Her skal det analyseres, hvordan tekniske tiltag og virkemidler som f.eks. styring, regulering m.m., kan påvirke forbrugernes handlemønstre og adfærdssændringer, og dermed evt. energiforbrugsstigninger i forbindelse med renovering af eksisterende bygninger. Der ønskes en kvalitativ og kvantitativ vurdering af effekten af de vigtigste regulerings- og styringsmæssige tiltag. Ved vurdering af effekten skal overlap i forhold til de tiltag, som indgår under spørgsmål 2, vurderes."

I forhold til tekniske tiltag til at begrænse boligernes energiforbrug kan der skelnes mellem de teknologier der sigter på at oplyse beboerne og give feedback til dem om deres energiforbrug, indeklima m.m., og de teknologier der sigter mod at overtage styringen eller hjælpe forbrugerne med at styre opvarmning og evt. udluftning.

5.3.1 Feedback til forbrugerne

Feedback om energiforbrug til beboerne gør brug af digitale energimålere som opsamler energidata og kan visualisere det for forbrugerne, typisk med en vis tidsforsinkelse på fx en eller et par dage. Forbrugeren kan fx få vist sit forbrug i forhold til eget forbrug på tilsvarende tidligere ugedage, eller i forhold til andre sammenlignelige forbrugeres forbrug. Visualiseringen kan foregå på skærme i boligen, over sms-beskeder eller via en app på telefonen. Der er gennemført en del studier af, hvad effekten af sådan feedback er for at sænke energiforbruget og der er i studier, der samler op på erfaringerne, nået frem til at det skal forventes, at i størrelsesordenen **2-3 % af husstandens forbrug kan spares** ved at give denne type information (Darby et al., 2015; Togeby and Zvingilaite, 2015). Feedback til forbrugeren handler om at gøre forbrugerne bevidste om et forbrug der ellers er usynligt, idet betaling af energi ofte foregår automatisk uden forbrugeren behøver at lægge mærke til forbrugets størrelse. Disse 2-3 % besparelse refererer ikke specifikt til spørgsmål om at opnå de forventede besparelser efter renovering, men relaterer til, hvilke besparelser der generelt kan forventes opnået ved feedback. Det er således en forholdsvis lille del af det samlede forbrug der kan forventes påvirket med denne type teknologi. I forhold til at opnå de ikke opnåede besparelser ved energirenovering, så er vurderingen at dette primært relaterer til spørgsmålet om højere rumtemperaturer.

5.3.2 Teknologi der hjælper med styring af forbrug

Teknologier der overtager, eller hjælper, forbrugeren eller boligejeren med at styre energiforbruget, inkluderer en bred vifte af teknologier. For beboerne spænder de relevante teknologier fra simple mekaniske termostatventiler på den enkelte radiator til elektroniske termostater med mulighed for at styre efter en bestemt indetemperatur og automatisk efter forbrugernes døgnrytme samt at styre over telefonen på afstand fra boligen. For etagebebyggelser og større bygningskomplekser er det desuden muligt for bygningsejeren at inkludere CTS (Central Tilstand og Styring) eller BMS (Building Management Systems) systemer, der kan styre og overvåge større komplekse varmesystemer. En analyse af potentialet for energibesparelser i bygninger som helhed konkluderer, at der med kendt teknologi kan forventes opnået **besparelser på ca. 2 %** af det samlede energiforbrug til opvarmning af boliger (Viegand Maagøe, 2018). En væsentlig andel af denne besparelse forventes at komme fra enfamiliehuse, hvilket hænger sammen med, at enfamiliehuse ifølge samme rapport udgør over halvdelen af det samlede forbrug til opvarmning i bygninger i Danmark. I beregning af besparelspotentialet tages der udgangspunkt i tekniske standardberegninger for, hvilken besparelse der

kan forventes for forskellige former for termostater (Videncenter for Energiebesparelser i Bygninger, 2018). Der skal, jf. nærværende rapport, altså inkluderes en forventet reduktion i forhold til, hvad disse beregninger angiver, og Viegand Maagøe regner her med at 30 % af den forventede besparelse ved elektroniske termostater vil omsættes til øget komfort. Et omfattende engelsk studie med detaljerede målinger og spørgeskema dokumenterer imidlertid, at det reelle forbrug, samt målte temperaturer, ikke er lavere i huse med termostatstyring af deres varme (Shipworth et al., 2010). Dette studie stiller således et væsentligt spørgsmålstejn ved den opfattelse, at termostatstyring bidrager til at sænke forbruget. Forklaringer inkluderer dels at forbrugerne ikke forstår teknologierne, samt at styringen også kan bruges til at øge komfort, og dermed højere temperaturer og energiforbrug.

En væsentlig del af det teknisk beregnede besparelspotentiale for de elektroniske termostater kommer ved at der laves natsænkning af temperaturen i boligerne, mens beboerne sover, samt i dagtimerne mens de er væk. En relevant problemstilling relateret til dette hænger sammen med at fremtidens varmekonsum gerne skal være fleksibelt, således at forbruget kan tilpasses produktion fra fluktuerende vedvarende energikilder. Det er i den sammenhæng ikke en fordel, hvis der kommer et ekstra stort forbrug om morgenen og om eftermiddagen fremfor midt på dagen og midt på natten, idet opvarmningen så bidrager yderligere til de toppe, der er i døgnvariation i energiforbruget. Det er derfor vigtigt ikke kun at se på energibesparelser, men også at se på tidspunkter for forbrug, og således kan der argumenteres for, at det er bedre at varme boligen op om natten og midt på dagen, idet der så kan slukkes kortvarigt for varmen i de perioder, hvor der i øvrigt er store forbrug i boligsektoren (Andersen et al., 2019). Særligt i forhold til fleksibelt forbrug, det vil sige at flytte rundt på forbruget tidligt, må der forventes at være et stort potentiale for styring, automatisering og regulering af varmekonsum i både etageboliger og parcelhuse. Dette spørgsmål ligger dog uden for denne rapportes formål, som udelukkende omhandler energibesparelser.

Et sted hvor styring og regulering i nærværende rapport forventes at have et større potentiale, er i ejendomsdriften af større bygninger, som inkluderer en mere professionel drift. Styring og overvågning af forbrug kan således være en væsentlig faktor til at hjælpe med at finde fejl i forkert eller dårligt indregulerede energisystemer. Dette relaterer sig således primært til etagebebyggelser og den manglende realisering af det tekniske potentiale som følge af dette, således som det er beskrevet i kapitel 2 og 4. Vurderingen er her, at det bør være realistisk at undgå det ekstra forbrug der er som følge af forkert indregulerede systemer, og at smart styring er en del af løsningen, men at det kun vil fungere samtidigt med uddannelse af driftspersonale samt en form for krav om kommissionering før ibrugtagning af nybyggede og ny-renoverede bygninger.

Generelt for introduktion af styring og smart teknologi i relation til boligens energiforbrug gælder, at potentialet for besparelser ikke kan ses isoleret fra en oplysningsindsats blandt beboere og bygningsansvarlige. Hvis beboerne ikke er interesseret i at spare på energien, vil smart styring ikke hjælpe dem med dette, og hvis driftspersonalet ikke ved, hvordan de skal håndtere avancerede styringssystemer, vil de ikke være i stand til at bruge dem.

Samlet set vurderes det således, at styring og reguleringsteknologi ikke kan bidrage til yderligere reduktioner i de manglende besparelser ud over, hvad der er beskrevet i forrige afsnit 5.2. Det vurderes derimod, at teknologierne kan spille en mindre rolle i at hjælpe med at holde lavere rumtemperaturer, og en større rolle i forhold til at undgå spild fra dårligt fungerende varme og ventilationssystemer. I alle tilfælde skal den teknologiske styring dog ikke ses isoleret fra oplysning og efteruddannelse af relevante aktører. I modsat fald er der risiko for at styringen og den smarte regulering kan bidrage til et stigende forbrug fremfor at realisere besparelser.

Energistyrelsen har fået lavet en undersøgelse af potentialet for styring og regulering af bygninger (Viegand Maagøe, 2018). I denne rapport konkluderes det, at potentialet for besparelser med kendt teknologi er på 2 % i 2030. I et længere tidsperspektiv og med teknologi vi endnu ikke kender, vurderes der dog af Viegand Maagøe, at være et potentiale for besparelser på op til 11 % i 2050. Analyser i nærværende rapport handler om, at sammenligne teoretisk beregnede besparelspotentialer med, hvad der reelt ses opnået. Det er ikke muligt at forholde sig til teoretiske beregninger af endnu ikke kendt teknologi, men vurderingen er, at dette på den ene side forekommer optimistisk, hvis teknologien alene skal hjælpe med at styre, så der undgås energiforbrug som ikke er efterspurgt. På den anden side forekommer denne besparelse pessimistisk i forhold til den klimadagsorden Danmark står overfor. Hvorvidt teknologien kan bidrage til væsentlige reduktioner i energiforbruget vurderes at hænge snævert sammen med den interesse slutbrugerne og andre aktører har i at spare på energien. Dette spørgsmål hænger sammen med en diskussion af sufficiency, og på hvilke måder forbrugerne er interesserede i at spare på måder, der også forholder sig til, hvor høj grad af komfort det er nødvendigt at have. Dette spørgsmål uddybes i afsnit 5.4.

5.4 Hvordan kan beboerne påvirkes til at handle anderledes?

I den stillede opgave for denne rapport skriver Energistyrelsen:

"Her skal der opstilles forslag til konkrete tiltag og virkemidler som fx adfærdskampagner, borgermøder m.m., der kan realisere de identificerede nye adfærdssændringer, handlemønstre o.l. samt tekniske tiltag i spørgsmål 2 og 3."

På baggrund af resultater fra de ovenstående review og analyser samt sammendrag, er anbefalingerne til at påvirke beboerne følgende:

- Særligt i forhold til etageboliger bør råd om opvarmning og udluftning kommunikeres direkte i relation til den konkrete bolig og de konkrete opvarmnings- og udluftningssystemer, som denne bolig har. I forbindelse med enhver renovering som betyder ændringer i varme- og ventilations-teknologi, eller styringsteknologi, bør der indtænkes en kommunikationsplan i forhold til beboerne. Driftspersonalet for den pågældende bygning bør tænkes ind i denne kommunikationsplan, da de efterfølgende vil have en central rolle i at hjælpe beboerne, ligesom de er centrale i at få systemet til at virke over tid
- Det er muligt i etageejendomme at begrænse den temperatur der kan opnås i de enkelte lejligheder, og dermed styre at ingen holder meget høje indetemperaturer. Ulempen er dog at enkelte beboere kan blive utilfredse og supplere opvarmningen med individuelle elovne. Denne type tiltag er således bedst, hvis den bygger på at beboerne er enige i, hvilke temperaturer der maksimalt er brug for
- Særligt i forhold til enfamiliehuse, hvor beboerne også er ejere og dermed er dem, der tager alle beslutninger vedrørende energirenovering skal man være varsom med at reklamere for, at der vil være store komfortforbedringer forbundet med en energirenovering. Hvis komfortforbedringer er hovedmotivation for renoveringen, må det forventes at være mere sandsynligt at de beregnede besparelser ikke opnås. Tilsvarende, hvis beboerne ikke samtidig bliver oplyst om at der – alt andet lige – altid vil være en negativ betydning for energiforbruget, hvis der holdes en højere temperatur eller opvarmes et større areal.
- Særligt i forbindelse med smart teknologi til styring og regulering, skal der være opmærksomhed på, at disse er designet så de er til at forstå for

- slutbrugerne – eksempelvis kan Usability-test bruges. Teknologier kan testes, mærkes og reguleres i forhold til, hvor intuitive og lette de er at bruge for almindelige mennesker på den mest hensigtsmæssige måde.
- Udformningen af kommunikation er afgørende for om denne virker efter hensigten. Der er i internationale studier set eksempler på, at boligområder der blev informeret for at opnå en større effekt af deres energirenovering, ikke kunne dokumentere nogen synlig effekt fra denne kommunikation (Bardsley et al., 2019), og der er andre eksempler på, at kommunikation netop har bidraget til at opnå en større andel af de teoretiske besparelser end uden beboeroplysning (Cali et al., 2016).

Energieffektivisering af bygningsmassen er en politisk målsætning i bestræbelserne på at opnå lavere energiforbrug. Det bør overvejes om sufficiency også kan indgå i målsætningen. I Danmark har vi gennemsnitligt set oplevet stadige komfortforbedringer i form af et stadigt større areal opvarmet til stadigt højere temperaturer. Sufficiency handler om at sætte spørgsmålstejn ved, hvornår nok er nok. I besvarelsen af dette spørgsmål bør indrages, at nogle befolkningsgrupper i udgangspunktet kan have små og utilstrækkeligt opvarmede boliger, og eventuelle politikker skal derfor ikke rettes til hele befolkningen. Der kan politisk arbejdes med sufficiency på flere måder:

- Gennem kampagner at sætte spørgsmålstejn ved, om det gode liv behøver at inkludere stadig større og varmere boliger, inkl. sommerhuse opvarmet helårs. Kampagner, der opleves at moralisere på dette område kan dog tænkes at være kontraproduktive, hvis befolkningen oplever at myndigheder blander sig i deres livsstil.
- Gennem kampagner være opmærksom på, at man ikke indirekte opfordrer til øget komfort for at sælge energieffektivisering.
- Store boliger er ikke altid et positivt tilvalg, men kan være en konsekvens af, at børnene er flyttet og ægtefælle/samlever er død. Sufficiency politik kan dermed også handle om at hjælpe ældre til at få en mindre energikrævende bolig. Boligpolitik, herunder hvilke typer boliger der skal bygges hvor, er dermed også indirekte en væsentlig faktor for, hvor mange kvadratmeter bolig der skal varmes op
- Skatte og afgiftspolitik kan bruges til at tilskynde til at bo i mindre boliger, hvilket samtidig kan tilskynde til øget mobilitet på boligmarkedet. Her tænkes på at små husstande i højere grad søger mod mindre boliger, og dermed frigiver store boliger til større husstande.

Bilag 1. Data beskrivelse

Tre datakilder dannede grundlag for analyserne. Således benyttede vi en spørgeskemaundersøgelse, som vi kobled med registerdata og data om reelt varmekonsum.

Spørgeskemaundersøgelserdata

Spørgeskemaundersøgelsen blev udført som en del af projektet UserTEC på Aalborg Universitet. Formålet med undersøgelsen var ikke at undersøge betydningen af renovering af enfamiliehuse, men i stedet at undersøge forskelle i varmekonsum med detaljerede oplysninger om blandt andet huse, husstandspraksis og beboernes forståelse af komfort.

Selve spørgeskemaet blev udarbejdet af forskere på Aalborg Universitet, hvor spørgsmål blev diskuteret med den øvrige projektgruppe for at få input fra både samfundsvidenskabelige og tekniske tilgange til husstandes varmekonsum. Derefter indsamlede Danmarks Statistiks surveyenhed besvarelser ind i løbet af februar og marts 2015 via en webportal. Undersøgelsen blev udført blandt husstande i enfamiliehuse i forstæder til Aarhus, hvor vi vidste, at vi havde informationer om time-baseret varmekonsum. Varmekonsumsdata fik vi fra Affaldvarme Aarhus med tilladelse til at koble det med spørgeskemaet på Danmarks Statistiks anonymiserede servere. Vi fik i alt 1.216 svar, som svarede til en svarprocent på 69,5 %. Dette antal bliver dog reduceret, når vi fjerner 'missing' værdier, fx ved tilføjelse af flere datakilder.

Spørgeskemaet inkluderede blandt andet detaljerede spørgsmål om renoveringer, hvor vi i denne analyse har udledt følgende mål, som alle er omdannet til binære variable med mulighederne 'Ja' (1) og 'Nej' (0) (se Bilag 3 for spørgsmålsformuleringer):

- 1) Udskiftning af vinduer efter 2005. Vi har antaget, at udgangspunktet for alle huse er, at de har termoruder med dobbeltglas, og er således interesseret i forskellen til nyere vinduer installeret efter 2005. Vi har fjernet dem som har svaret at under 25 % af vinduerne blev udskiftet.
- 2) Loftsisolering er 20 cm eller mere. Vi spurgte først til om de har efterisolering loft og dernæst til hvor meget isolering der er på loftet nu.

På denne måde har vi forsøgt at spørge så præcist som muligt uden at gøre det for komplekst eller vanskeligt for respondenterne at svare. Dermed mener vi, at vi har øget validiteten af de selvrapporterede mål for renoveringer.

Varmekonsumsdata

Som skrevet ovenfor blev spørgeskemaet koblet med timebaseret varmekonsumsdata, som vi fik leveret af Affaldvarme Aarhus. Dette timevarmekonsumsdata gælder fra 30. november 2013 til 1. december 2014, som vi således har summeret til et års forbrug. Vi har fjernet fem observationer med et årsforbrug under 30 kWh/m².

Registerdata

Den sidste datakilde er registerdata fra Danmarks Statistik, som indeholder detaljerede informationer registreret til 1. januar 2015 om bygninger (fra BBR registret), husstande og individer (blandt andet fra Skatteregistret). I denne analyse benytter vi først og fremmest disse information til inddeling af grupper, klyngeanalysen og kontrolvariable i regressionsmodellerne.

Bilag 2. Metodebeskrivelse

For at undersøge hvorvidt gennemsnit er signifikant anvender vi en t-test ved hjælp af Stata kommandoen *ttest*. Denne tester for eksempel hvorvidt forskellen mellem to gennemsnit er signifikant forskellige. Når vi ønsker, at kontrollere for betydningen af andre faktorer, så benytter vi multipel (OLS) regressionsanalyse (Wooldridge, 2003, p. 68). På den måde kunne vi undersøge sammenhængen mellem to variable, hvor vi tager hensyn til en række andre faktorer såsom bygningskarakteristika.

Derudover benyttede vi klyngeanalyse (cluster analysis), og nærmere bestemt metoden 'K-means clustering', til at segmentere boliger i forhold til bygningskarakteristika. Disse karakteristika inkluderede størrelse (m²), ydervæg type, antal rum mv. Målet med denne metode, som er en af de mest populære ikke-superviserede maskinlærings algoritmer (Cembranel et al., 2019; Jain, 2010; Jin and Han, 2017), er at dele et antal (n) datapunkter ind i et antal klynger (k) i forhold til reglen om 'nearest-neighbor' (Hattori and Takahashi, 2000) på en måde, så ligheder i karakteristika er grupperet sammen. Forud for klyngeanalysen er variablene (med undtagelse af bygningsår) blevet standardiserede. K-means metoden minimerer summen af kvadrerede afvigelser over alle k klynger, som det følger af denne ligning:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in c_k} ||x_i - \mu_k||^2 \quad (1)$$

hvor μ_k er den gennemsnitlige værdi af de udvalgte punkter til danne klyngen c_k og $||x_i - \mu_k||^2$ er en standard Euclidian afstandsfunktion mellem datapunktet x_i og dets tætteste geometriske tyngdepunkt μ_k . Jo mindre J er, des mere ens data inden for gruppen.

Bilag 3. Spørgeskema spørgsmål

Spørgsmålene inkluderer også svarene fra alle respondenter i undersøgelsen. De variable der indgår i analysen, er i flere tilfælde blevet tilpasset og omkodet til den specifikke analyse. Derfor vil antallet af besvarelser ikke være nøjagtig det samme.

Renovering

Er nogle af vinduerne blevet skiftet inden for de seneste 10 år, senere eller aldrig?	Ja	Nej	Ved ikke
Inden for de seneste 10 år	47,70 % (580)	51,73 % (629)	0,58 % (7)
For over 10 år siden	16,28 % (198)	83,14 % (1011)	0,58 % (7)
Ikke blevet skiftet	7,98 % (97)	91,45 % (1112)	0,58 % (7)

		1. Ja	2. Nej	3. Ved ikke	Missing
K34	Er taget blevet efterisoleret siden huset blev bygget?	50,49 % (614)	33,47 % (407)	5,84 % (71)	10,20 % (124)

K34_a er kun besvaret af respondenter der har svaret ja til at have efterisoleret.

		1. Under 10 cm	2. 10 – 20 cm	3. Mere end 20 cm	4. Ved ikke	Missing
K34_a	Hvor meget isolering er der nu på loftet?	0,58 % (7)	14,72 % (179)	29,19 % (355)	6,00 % (73)	49,51 % (602)

Påklædning

		1. Ja	2. Nej	Missing
C11_1	Har du varmere tøj på indendørs om vinteren sammenlignet med resten af året?	71,30 % (867)	25,74 % (313)	2,96 % (36)
C11_2	Bruger du oftere hjemmesko eller tykke sokker om vinteren?	65,05 % (791)	31,99 % (389)	2,96 % (36)
C11_3	Har du oftere et tæppe over dig, når du sidder stille om vinteren?	48,19 % (586)	48,85 % (594)	2,96 % (36)

Udluftning

Hvor ofte har du i de seneste to uger luftet ud ved at åbne vinduer eller døre	1. Flere gange om dagen	2. Én gang om dagen	3. Flere gange om ugen	4. Én gang om ugen	5. Én gang hver 14. dag	6. Slet ikke	9. Ve Vikki	Missing
F22_1_1 ...for at få frisk luft ?	18,50 % (225)	42,02 % (511)	15,05 % (183)	8,72 % (106)	2,38 % (29)	10,03 % (122)	0,33 % (4)	2,96 % (36)
F22_2 ...i forbindelse med madlavning ?	5,43 % (66)	19,57 % (238)	16,53 % (201)	11,35 % (138)	8,47 % (103)	35,12 % (427)	0,58 % (7)	2,96 % (36)
F22_3 ...i forbindelse med badning?	15,13 % (184)	40,38 % (491)	17,68 % (215)	3,62 % (44)	1,56 % (19)	18,42 % (224)	0,25 % (3)	2,96 % (36)
F22_9 ...for at sænke indendørstemperaturen?	1,07 % (13)	3,87 % (47)	2,80 % (34)	3,29 % (40)	3,54 % (43)	81,83 % (995)	0,66 % (8)	2,96 % (36)
F22_7 ...fordi der var fugt på vinduerne?	3,21 % (39)	15,38 % (187)	9,29 % (113)	5,51 % (67)	5,18 % (63)	57,65 % (701)	0,82 % (10)	2,96 % (36)
F22_8 ...i forbindelse med rengøring ?	1,73 % (21)	9,21 % (112)	14,56 % (177)	31,00 % (377)	13,24 % (161)	26,32 % (320)	0,99 % (12)	2,96 % (36)

Regulere termostater

	1. Ja	2. Nej	3. Ved ikke	Missing
B8 Regulere du oftere på varmen i efterårsmånederne end i vintermånederne, ved eksempelvis at justere på termostater?	31,50 % (383)	61,51 % (748)	4,03 % (49)	2,96 % (36)

Indetemperatur

	1. Ja	2. Nej	Missing
Er der nogenlunde samme temperaturniveau i alle opvarmede rum?	48,36 % (588)	48,60 % (591)	2,96 % (36)
Forsøger du eller I bevidst at holde forskellige temperaturer i forskellige opvarmede rum?	59,54 % (724)	37,50 % (456)	2,96 % (36)

	1. Under 20° celsius	2. 20°-22° celsius	3. Over 22° celsius	4. Ved ikke	Missing
B6_1 Hvilken temperatur vurderer du, at der generelt er i stuen om vinteren, når du opholder dig der?	5,67 % (69)	75,74 % (921)	14,80 % (180)	0,82 % (10)	2,96 % (36)
B6_2 Hvilken temperatur vurderer du, at der generelt er i soveværelset om vinteren, når du sover der?	75,90 % (923)	17,76 % (216)	1,32 % (16)	2,06 % (25)	2,96 % (36)

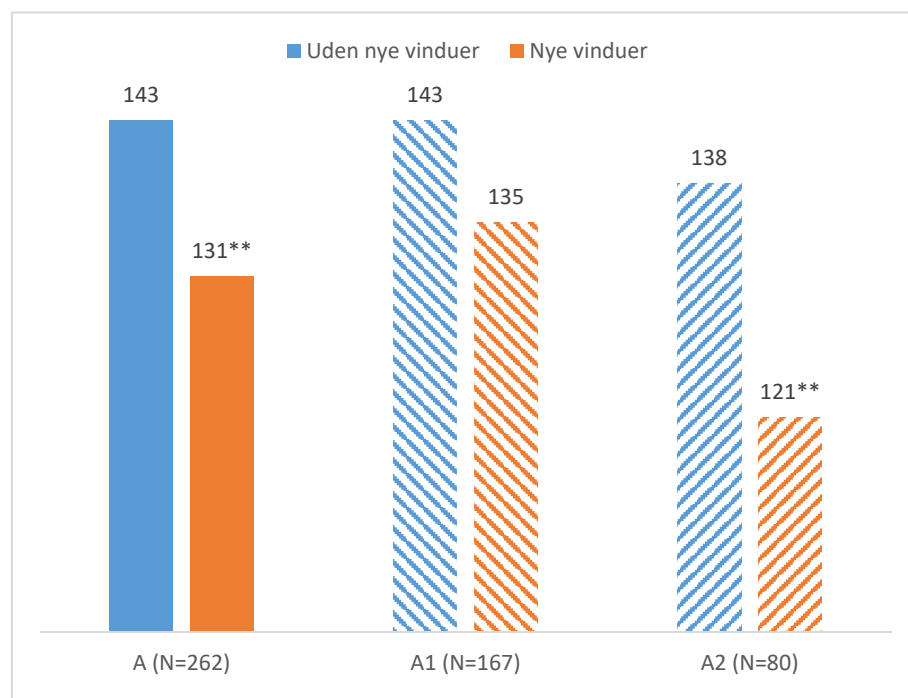
Badning

M42	Hvor mange bade tages der samlet i huset om ugen?	Angiv antal
-----	---	-------------

Bilag 4. Resultater via grupperingsmetoden

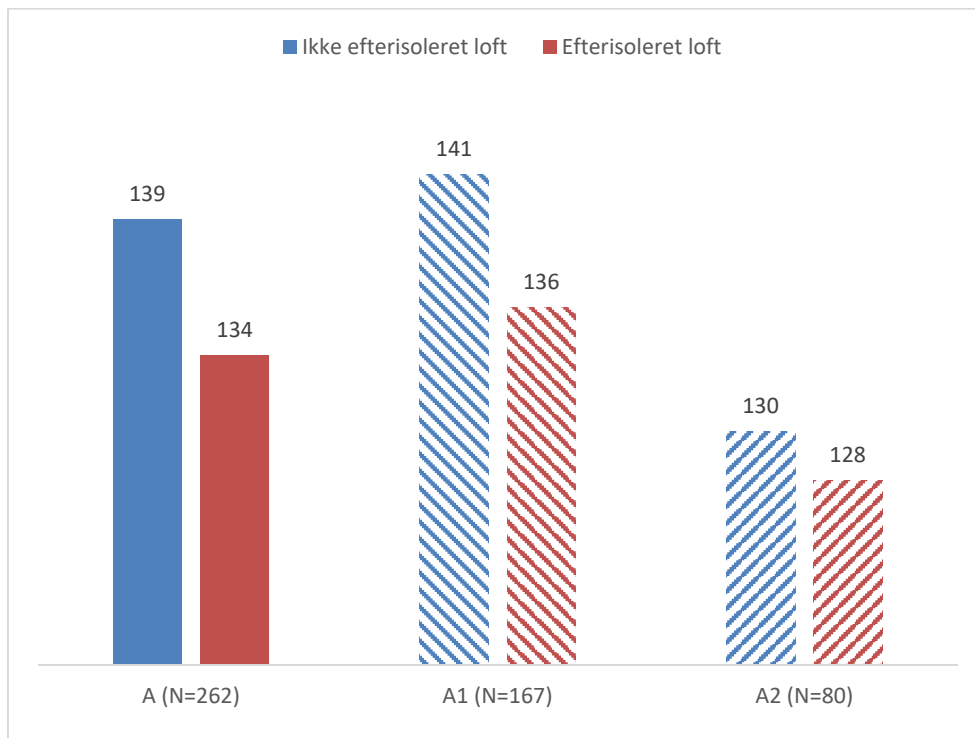
Dette bilag indeholder alle resultater fundet ved grupperingsmetoden (se Bilag 2).

Figur 1 viser forskellen i varmekonsum (kWh/m²) mellem huse med nye vinduer og huse uden nye vinduer i hovedgruppen med de ældre huse (A). Denne viser en signifikant forskel for den samlede gruppe (A). Ved at se på klyngeanalysegrupperne, som er grupper af huse, der er mere sammenlignelige, ses der også en signifikant forskel for den ene gruppe A2. Denne forskel er en smule større. Det skal bemærkes at størrelsen på A1 (N=167) og A2 (N=80) ikke summerer til A (N=262). Det skyldes, at A1 og A2 er grupperet ved hjælp af flere bygningskarakteristika, hvor enkelte har manglet observationer, som vi valgte ikke at fjerne i hovedgruppe A.



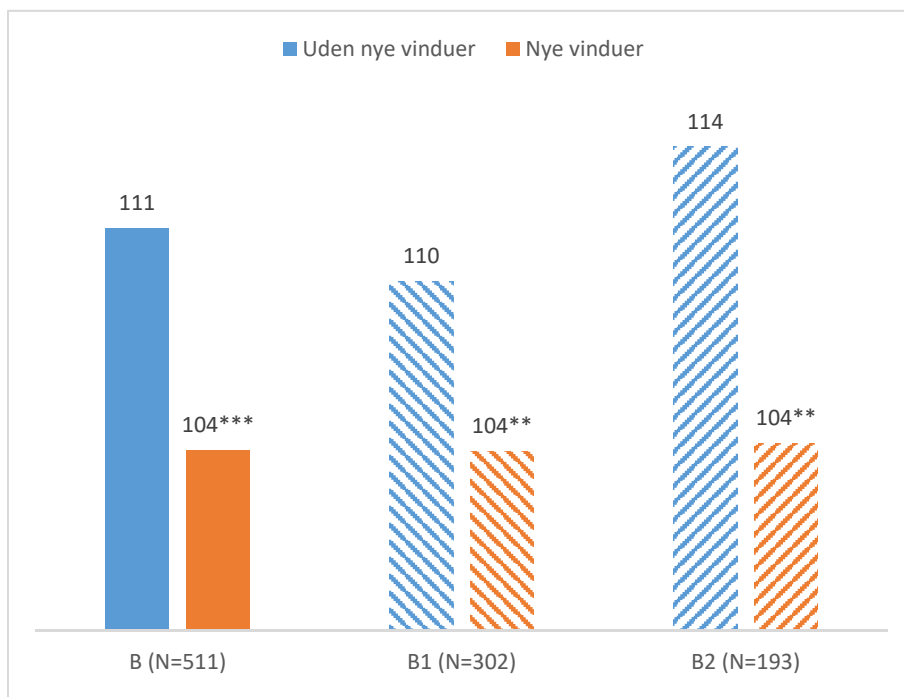
Figur 1. Varmeforbrug (kWh/m²) med og uden nye vinduer for ældre huse (A) og to klyngeanalyser (A1, A2). * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

For renovering i form af isoleret loft var der derimod ikke nogle signifikante forskelle. Der er imidlertid forskelle, som det kan ses i figur 2, men disse kan altså ikke med sikkerhed siges ikke at være tilfældige.



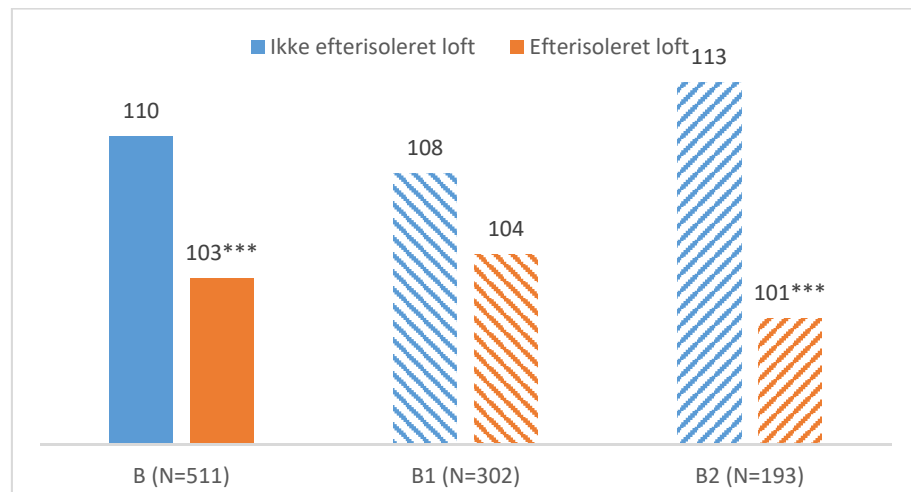
Figur 2. Varmeforbrug (kWh/m²) med og uden efterisolering af loft for ældre huse (A, A1, A2).

I den næste hovedgruppe B, som også er den største, er der flere resultater at finde. Figur 3 viser, at der for nye vinduer er der en signifikant forskel både for hovedgruppen B og for klyngerne B1 og B2.



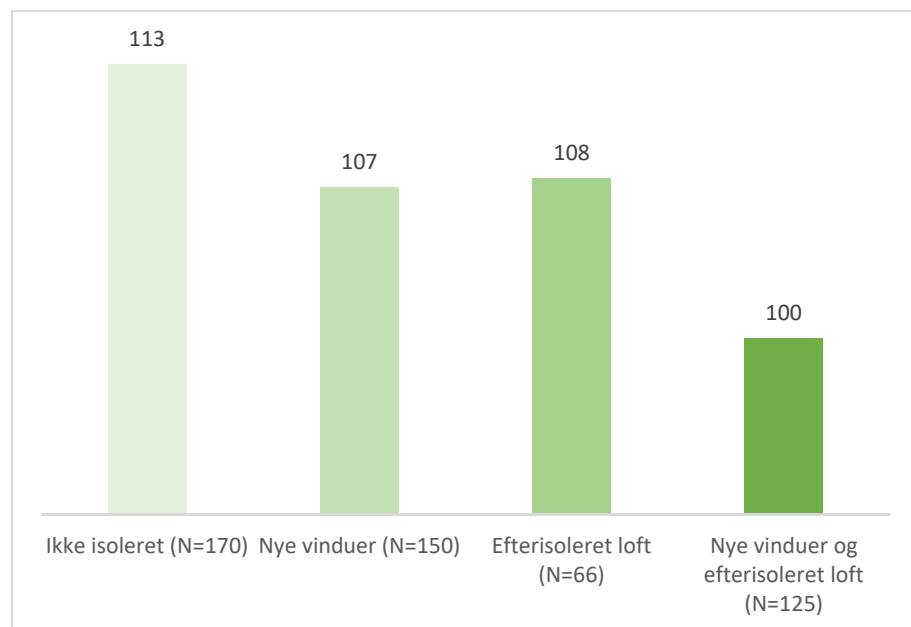
Figur 3. Varmeforbrug (kWh/m²) med og uden nye vinduer for typehuse (B, B1, B2). * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

Det samme gør sig næsten gældende for efterisolering af loft. Figur 4 viser, at der er signifikante forskelle for hovedgruppe B og klyngegruppe B2, mens forskellen i klyngegruppe B1 ikke er signifikant.



Figur 4. Varmeforbrug (kWh/m²) med og uden efterisolering for typehuse (B, B1, B2). * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

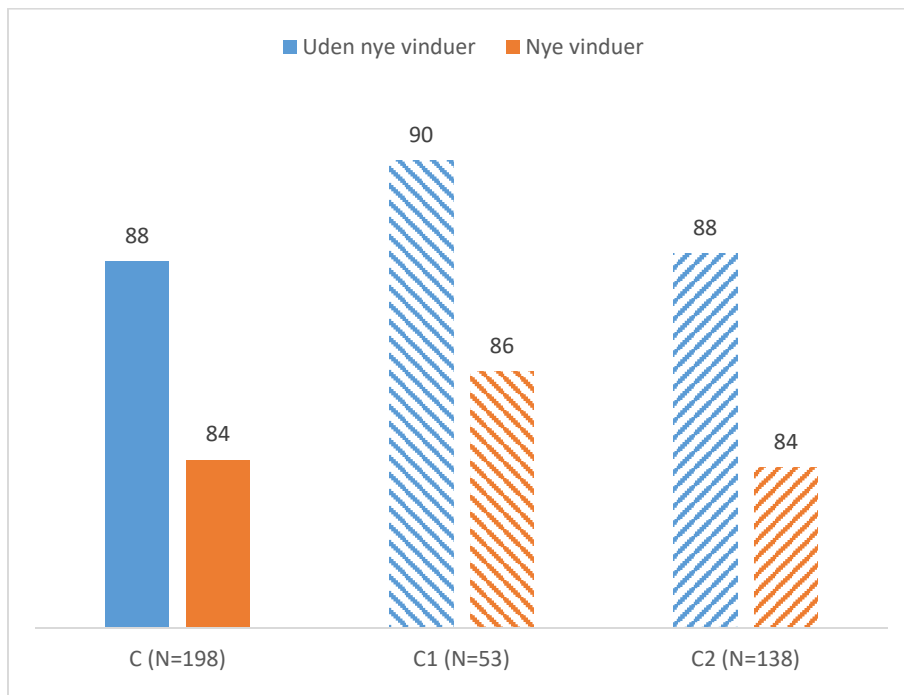
Da der er signifikante forskelle for både nye vinduer og efterisolering af loft i hovedgruppe B, og den i øvrigt indeholder mange observationer, så har vi valgt også at se på kombinationen af de to.



Figur 5. Gennemsnitligt årligt varmekonsum (kWh/m²) med og uden renovering for typehuse (B). Gennemsnittet for gruppen 'Nye vinduer og efterisoleret loft' er signifikant forskellig fra de øvrige.

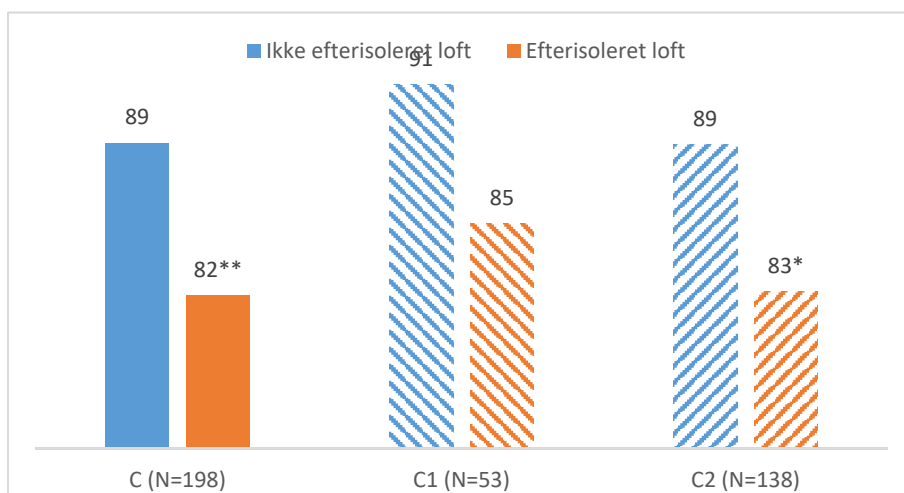
Figur 5 indikerer hvordan flere renoveringer kan medføre endnu lavere forbrug, men samtidig viser det også at man ikke blot kan lægge den estimerede besparelse for nye vinduer (7,4 kWh/m²) sammen med besparelsen for efterisoleret loft (7,5 kWh/m²). Disse skal snarere ses i kombination, som dog i dette tilfælde giver en stor forskel på 12,7 kWh/m² fra husene uden renoveringer.

Selvom der er forskelle i forbruget mellem huse med og uden nye vinduer, så er ingen af disse forskelle signifikante for den sidste hovedgruppe med de nyere huse (C), heller ikke for klyngegrupperne C1 og C2. Dette kan ses i figur 6.



Figur 6. Varmeforbrug (kWh/m²) med og uden nye vinduer for nyere huse (C, C1, C2). Ingen signifikante forskelle, men dog stadig forskelle for alle grupper.

Derimod er der signifikante forskelle for efterisolering af loft, selvom forskellene ikke er store, som det ses i figur 7.



Figur 7. Gennemsnitligt årligt varmekonsum (kWh/m²) med og uden efterisoleret loft for nyere huse (C). * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

Det gælder dog generelt for hovedgruppe C, at forbruget er lavere, hvilket formentlig skyldes en højere energieffektivitet i de nyere huse. Der er dog bemærkelsesværdigt, at der stadig ses en signifikant forskel i det gennemsnitlige forbrug, når der ses generelt for hovedgruppe C.

Bilag 5. Resultater via modelleringsmetoden

Dette bilag præsenterer resultaterne fra regressionsanalyserne for hver af hovedgrupperne (A, B og C). I disse regressionsmodeller var det muligt at undersøge begge typer renovering på samme tid og kontrollere for bygningsskarakteristika, samt at kontrollere for antallet af beboere i husstanden. Tabel 1 opsummerer resultaterne af disse regressionsmodeller, mens de fulde modeller kan ses i tabel 2 længere nede.

		Koefficient
A (N=247)	Nye vinduer	-14,448*** (5,368)
	Efterisoleret loft	0,478 (5,615)
B (N=495)	Nye vinduer	-6,934*** (2,343)
	Efterisoleret loft	-8,378*** (2,419)
C (N=191)	Nye vinduer	-3,071 (3,976)
	Efterisoleret loft	-6,667* (3,440)

Tabel 1. Sammenlægning af resultater af regressionsmodeller. Fulde modeller kan ses i tabel 2.

* $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$. Standardfejl i parentes.

Tabel 1 viser næsten det samme billede, som ved grupperings- og klynge-metoden. Således ses der en stor forskel for nye vinduer i hovedgruppe A, samt signifikante forskelle for både nye vinduer og efterisoleret loft for hovedgruppe B. Til sidst er forskellene for efterisoleret loft i hovedgruppe C kun lige akkurat signifikant på et 90 % sikkerhedsinterval.

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
	Koefficient	coef se	coef Se
Nye vinduer (1=Ja)	-14,448*** (5,368)	-6,934*** (2,343)	-3,071 (3,976)
Efterisoleret tag (1=Ja)	0,478 (5,615)	-8,378*** (2,419)	-6,667* (3,440)
Brændeovn eller pejs (1=Ja)	-13,450** (6,854)	-9,329*** (3,059)	-3,765 (4,006)
Kælder (1=Ja)	12,116* (6,254)	20,080*** (3,023)	20,780** (8,703)
Hustørrelse (m2)	-0,457*** (0,070)	-0,261*** (0,046)	-0,021 (0,060)
Tagetage	2,400 (7,121)	-5,239 (4,473)	0,335 (5,393)
Ydrevægsmateriale (1=Mursten)	-4,496 (10,552)	12,113* (6,553)	-1,458 (18,787)
Tagmateriale (Ref.: Fibercement)	Ref.	Ref.	Ref.
Cementsten	-9,612 (12,440)	0,770 (4,940)	2,023 (3,034)
Tegl	1,681 (6,318)	3,205 (2,669)	9,419** (4,564)
Andet	6,724 (10,459)	4,095 (3,926)	2,936 (19,202)
Gulvvarme i stuen (1=Ja)	4,058 (7,137)	10,223*** (3,470)	8,939*** (3,327)
Antal beboere	3,876* (2,260)	0,489 (1,028)	1,272 (1,368)
Konstant	189,749*** (13,678)	135,663*** (8,995)	86,767*** (20,243)
Adjusted R2	0,228	0,209	0,131
Antal observationer	247	495	191

Tabel 2. Fulde regressionsmodeller for hver gruppe. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$, standardfejl i parentes.

Bilag 6. Tekniske beregninger af varmebesparelser

Nedenstående varmebesparelser er beregnet med værktøjet "besparelsesberegner.sbi.dk". Beregningskernen er den samme som anvendes i Be18 til energimærkning af bygninger.

Grupper	Byggeperiode	Udskiftet vinduer efter ca. 2005	Efterisoleret loft (20 cm eller mere)
A	Før 1961 (1930)	29,6	23,6
B	Fra og med 1961 til og med 1978	34,65	18,5
C	Fra og med 1979 til og med 1998	33,5	12,9

Tabel 3. Teknisk beregnede estimater baseret på "besparelsesberegner.sbi.dk" for husstørrelse på 140 m².

Besparelsesberegneren opbygger ud fra indtastet byggeår og opvarmet areal en komplet husmodel bestående af typiske konstruktioner og isoleringsniveauer for byggeperioden. Estimerne i tabellen er baseret på en husstørrelse på 140 m². Selvom der er forskelle for forskellige husstørrelser, så vurderes den til at være lille.

Resultatet fra Besparelsesberegneren svarer til en teoretisk beregning af forskellen i varmebehov for samme husmodel før og efter et efterisoleringstiltag eller udskiftning af vinduer. I denne analyse er antaget at varmforsyningen er fjernvarme og dermed udgår betydningen af varmforsyningens virkningsgrad, hvilket også fremgår af resultaterne, idet besparelserne er meget lidt afhængige af opvarmet areal og byggeår.

Bilag 7. Forskelle i husstandspraksisser

Påklædning

Det første tema er påklædning. Til at undersøge sammenhængen mellem påklædning og renovering benyttede vi tre spørgsmål, som alle relaterede til påklædning om vinteren i form af varmere tøj, hjemmesko og tykke sokker og tæppe. Tabel 4 viser først forskelle i forhold til nye vinduer. Den viser mindre forskelle, hvor ingen signifikante forskelle blev identificeret.

	A) Ældre huse		B) Tidlige type-huse		C) Senere type-huse	
Med eller uden nye vinduer	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
	%	%	%	%	%	%
Varmere tøj om vinteren? (1=Ja)	83,5	79,7	74,4	73,6	71,5	76,9
Bruger oftere hjemmesko eller tykke sokker om vinteren? (1=Ja)	75,9	76,4	70,9	70,4	63,1	69,2
Bruger oftere tæppe om vinteren? (1=Ja)	60,2	64,2	45,4	40,0	52,5	61,5
Antal	133	123	227	280	179	26

Tabel 4. Sammenhæng mellem nye vinduer og påklædning. Ingen signifikante forskelle.

Tabel 5, som viser sammenhængen med efterisolering af loft, viser ligeledes små forskelle, men brug af tæppe ser dog ud til lige akkurat at være signifikant mindre i tidlige typehuse med efterisolering af loft.

	A) Ældre huse		B) Tidlige type-huse		C) Senere type-huse	
Med eller uden efterisolering af loft	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
	%	%	%	%	%	%
Varmere tøj om vinteren? (1=Ja)	73,7	77,8	73,4	74,7	74,2	64,3
Bruger oftere hjemmesko eller tykke sokker om vinteren? (1=Ja)	77,1	74,4	70,6	70,6	63,2	66,7
Bruger oftere tæppe om vinteren? (1=Ja)	59,0	67,8	45,0	38,1*	55,8	45,2
Antal	166	90	313	194	163	42

Tabel 5. Sammenhæng mellem efterisolering af loft og påklædning. * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

Generelt ses der ikke klare sammenhænge mellem påklædning og renoveringer. Det tyder dog på, at der er mindre forskelle, som er interessante for denne rapports formål. For eksempel ser det ud til at varmere tøj og brug af tæppe er mindre udbredt i senere typehuse med efterisolering af loft sammenlignet med dem uden efterisolering. Derimod ser det ud til at brug af tæppe er mere udbredt i senere typehuse med nye vinduer sammenlignet med dem uden. Disse tal er dog baseret på et meget lille antal observationer med efterisolering.

Udluftning

Det næste tema er udluftning. Husstandes adfærd i forhold til at lufte deres bolig ud består af komplekse aktiviteter. Vi har fokuseret på, om de har vindue på klem om vinteren og på, hvor ofte de har luftet ud i forbindelse med forskellige husholdningsaktiviteter.

Tabel 6 viser, at der er mindre forskelle i beboere i huse med og uden renovering, som har vindue til at stå på klem om vinteren. Således tyder det på at beboere i tidlige typehuse (B) med efterisolering af loft er lidt mere tilbøjelige til at have vindue på klem. For beboere i senere typehuse uden renovering er de dog mere tilbøjelige til at have vindue på klem. Faktisk er der ingen af dem med nye vinduer, som har svaret at de har vindue på klem. Det skal dog bemærkes, at det kun er baseret på 26 respondenter.

	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
Med eller uden nye vinduer	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
Vindue på klem om vinteren? (1=Ja)	18,8%	22,3%	14,8%	18,3 %	15,2 %	0 %**
Antal	133	121	223	278	178	26
Med eller uden efterisolering af loft	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
Vindue på klem om vinteren? (1=Ja)	21,3 %	18,9 %	14,2 %	20,8 %*	12,3 %	16,7 %
Antal	164	90	309	192	162	42

Tabel 6. Sammenhæng mellem renovering og om vinduet står på klem om vinteren. * $p \leq 0,10$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$.

Tabel 7 og 8 viser sammenhængen mellem renoveringer og udluftning i forbindelse med forskellige aktiviteter.

Det tyder på, at i de ældre huse, der har fået nye vinduer, er beboerne lidt mere tilbøjelige til at lufte ud oftere i forhold til at for at få frisk luft, samt i forbindelse med madlavning og badning. Det samme mønster gælder imidlertid ikke for ældre huse, som har fået efterisoleret loft, som det ses i tabel 8. Det kunne således tyde på, at det er selve vinduets funktion i praksis, som forklarer forskellen.

Der ses ingen klare forskelle for tidlige typehuse med og uden renovering. Derimod tyder det på, at beboere i senere typehuse med nye vinduer lufte sjældnere ud i forbindelse med madlavning, badning, fugt på vinduerne og rengøring end i huse uden nye vinduer. Udluftning for at sænke temperaturen har alle endog svaret at de lufte ud sjældent. Igen skal det bemærkes, at denne gruppe er meget lille med kun omkring 26 observationer. Det samme gør sig næsten gældende for efterisolering af loft. Her drejer det sig dog primært om badning og fugt på vinduerne.

Med eller uden nye vinduer	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
	%	%	%	%	%	%
<i>For at få frisk luft</i>						
1. Sjældent	15,2	7,4	9,3	11,1	13,4	11,5
2. Af og til	30,3	28,7	21,2	21,9	25,1	30,8
3. Ofte	54,6	63,9	69,6	67,0	61,5	57,7
Antal	132	122	227	279	179	26
<i>I forbindelse med madlavning</i>						
1. Sjældent	45,0	47,5	45,3	43,0	46,4	34,6
2. Af og til	36,6	27,1	26,7	27,2	28,5	46,2
3. Ofte	18,3	25,4	28,0	29,8	25,1	19,2
Antal	131	122	225	279	179	26
<i>I forbindelse med badning</i>						
1. Sjældent	23,5	24,4	20,7	19,0	15,1	20,0
2. Af og til	30,3	22,0	18,5	23,7	16,8	32,0
3. Ofte	46,2	53,7	60,8	57,4	68,2	48,0
Antal	132	123	227	279	179	25
<i>For at sænke temperaturen</i>						
1. Sjældent	90,8	92,6	87,5	87,4	88,8	100,0
2. Af og til	4,6	4,9	7,6	8,3	4,5	0,0
3. Ofte	4,6	2,5	4,9	4,3	6,7	0,0
Antal	131	122	224	278	179	26
<i>Fordi der var fugt på vinduerne</i>						
1. Sjældent	63,6	62,8	67,6	66,7	58,7	73,1
2. Af og til	20,5	17,4	12,4	14,1	15,6	15,4
3. Ofte	15,9	19,8	20,0	19,2	25,7	11,5
Antal	132	121	225	276	179	26
<i>I forbindelse med rengøring</i>						
1. Sjældent	48,84	41,80	37,33	35,61	37,85	30,77
2. Af og til	46,51	48,36	49,78	50,72	48,59	65,38
3. Ofte	4,65	9,84	12,89	13,67	13,56	3,85
Antal	129	122	225	278	177	26

Tabel 7. Sammenhæng mellem nye vinduer og udluftning.

Med eller uden efterisolering af loft	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
	%	%	%	%	%	%
<i>For at få frisk luft</i>						
1. Sjældent	11,5	11,2	9,6	11,3	12,3	16,7
2. Af og til	30,3	28,1	22,1	20,6	27,6	19,1
3. Ofte	58,2	60,7	68,3	68,0	60,1	64,3
Antal	165	89	312	194	163	42
<i>I forbindelse med madlavning</i>						
1. Sjældent	48,8	41,6	44,4	43,5	44,8	45,2
2. Af og til	28,1	39,3	25,1	30,1	31,9	26,2
3. Ofte	23,2	19,1	30,6	26,4	23,3	28,6
Antal	164	89	311	193	163	42
<i>I forbindelse med badning</i>						
1. Sjældent	23,0	25,5	20,2	19,1	14,8	19,1
2. Af og til	26,7	25,6	21,8	20,6	17,9	21,4
3. Ofte	50,3	48,9	58,0	60,3	67,3	59,5
Antal	165	90	312	194	162	42
<i>For at sænke temperaturen</i>						
1. Sjældent	90,9	93,3	85,8	90,1	90,2	90,5
2. Af og til	4,9	4,5	8,4	7,3	3,1	7,1
3. Ofte	4,3	2,3	5,8	2,6	6,8	2,4
Antal	164	89	310	192	163	42
<i>Fordi der var fugt på vinduerne</i>						
1. Sjældent	65,2	59,6	67,5	66,3	57,7	71,4
2. Af og til	15,2	25,8	13,3	13,5	17,2	9,5
3. Ofte	19,5	14,6	19,2	20,2	25,2	19,1
Antal	164	89	308	193	163	42
<i>I forbindelse med rengøring</i>						
1. Sjældent	45,7	44,9	38,7	32,6	37,3	35,7
2. Af og til	45,7	50,6	47,4	54,9	52,2	45,2
3. Ofte	8,6	4,5	13,9	12,4	10,6	19,1
Antal	162	89	310	193	161	42

Tabel 8. Sammenhæng mellem efterisolering af loft og udluftning.

Generelt ser det ud til, at der er en lille betydning af nye vinduer i forhold til udluftningspraksisser. Det er dog formentlig ikke klare eller betydningsfulde forskelle nok til at forklare manglende realisering af energieffektivitet.

Regulering af termostater

Med hensyn til regulering af termostater så ser vi både på hvor ofte respondenterne regulerer deres termostater i stuen, soveværelse og badeværelse, samt om de regulerer oftere om efteråret i forhold til om vinteren.

Tabel 9 viser en lille tendens til at huse med nye vinduer i ældre huse og i tidlige typehuse i højere grad aldrig regulerer termostater. Det gælder særligt for badeværelset i de ældre huse, hvor respondenter i huse uden nye vinduer også er mere tilbøjelige til at regulere meget ofte.

Med eller uden nye vinduer	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
<i>Stue</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	38,2	44,6	44,1	51,1	44,6	42,3
Månedligt	31,3	27,3	26,6	24,4	33,9	34,6
Ugentligt	18,3	14,8	18,5	12,4	11,9	11,5
Dagligt	12,2	13,2	10,8	12,0	9,6	11,5
Antal	131	121	222	274	177	26
<i>Soveværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	53,1	56,4	58,0	59,7	62,9	53,8
Månedligt	20,3	15,4	13,8	12,4	10,1	19,2
Ugentligt	10,9	11,1	11,2	9,9	10,1	11,5
Dagligt	15,6	17,1	17,0	17,9	16,8	15,4
Antal	128	117	224	273	178	26
<i>Badeværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	60,9	72,7	72,7	73,6	75,3	65,4
Månedligt	17,2	19,0	15,9	17,9	17,4	23,0
Ugentligt	11,7	4,1	7,7	2,6	1,7	7,7
Dagligt	10,2	4,1	3,6	5,8	5,6	3,8
Antal	128	121	220	273	178	26

Tabel 9. Sammenhæng mellem nye vinduer og regulering af termostater.

Tabel 10 viser det samme for efterisolering af loft, blot lidt mindre tydeligt. Derudover ses der tydelige forskelle ved senere typehuse, hvor dem med efterisolering ser ud til i mindre grad at regulere deres termostater.

Med eller uden efterisolering af loft	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
<i>Stue</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	39,2	44,9	42,8	56,2	42,9	50,0
Månedligt	31,9	24,7	26,6	23,4	32,5	40,0
Ugentligt	16,6	16,8	18,7	9,4	13,5	5,0
Dagligt	12,3	13,5	11,8	10,9	11,0	5,0
Antal	163	89	304	192	163	40
<i>Soveværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	56,0	52,3	56,7	62,5	59,5	70,7
Månedligt	16,6	20,5	14,7	10,4	11,7	9,8
Ugentligt	12,7	7,9	11,1	9,4	10,4	9,8
Dagligt	14,6	19,3	17,4	17,7	18,4	9,8
Antal	157	88	305	192	163	41
<i>Badeværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Aldrig	66,9	66,3	70,7	77,2	71,1	85,4
Månedligt	16,2	21,3	18,3	15,0	19,0	14,6
Ugentligt	9,4	5,6	5,7	3,6	3,0	0,0
Dagligt	7,5	6,7	5,3	4,1	6,7	0,0
Antal	160	89	300	193	163	41

Tabel 10. Sammenhæng mellem efterisolering af loft og regulering af termostater.

Endvidere spurgte vi til om respondenterne oftere regulerer på varmen i efterårsmånederne i forhold til vintermånederne. Tabel 11 viser her en markant forskel mellem ældre huse med og uden renovering, hvor beboere i huse med renovering tyder på at de i langt højere grad regulerer forskelligt på tværs af sæsoner. For de øvrige hovedgrupper er der kun mindre forskelle.

	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
Med eller uden nye vinduer	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
Regulerer oftere på varmen i efterårsmånederne? (1=Ja)	25,6 %	39,7 %**	35,8 %	33,6 %	31,5 %	26,9 %
Antal	133	121	226	277	178	26
Med eller uden efterisolering af loft						
Regulerer oftere på varmen i efterårsmånederne? (1=Ja)	27,4 %	41,1 %**	34,8 %	34,2 %	31,9 %	26,8 %
Antal	164	90	310	193	163	41

Tabel 11. Sammenhæng mellem renoveringer og sæsonregulering af termostater.

Bortset fra at beboere i ældre huse med renoveringer ser ud til at sæsonregulere deres termostater mere, så er der ikke klare forskelle i hvordan beboere i renoverede og ikke renoverede huse regulerer deres termostater.

Indetemperatur

Modsat de øvrige temaer, så handler indetemperatur ikke direkte om adfærd. Indirekte er indetemperaturen dog influeret af blandt andet regulering af termostater og udluftning. Alligevel har vi valgt at tage temaet med, da det måske kan fremvise forskelle mellem husstande. Det skal bemærkes, at det er selvrapporterede oplevede temperatur, kategoriseret i tre grupper.

Ud fra tabel 12 ser det ud til at beboerne i senere typehuse i højere grad oplever deres stuetemperatur til at være i den høje ende, når de har nye vinduer.

	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
Med eller uden nye vinduer	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
<i>Stue</i>	%	%	%	%	%	%
Under 20°C	6,8	10	8,6	4,7	4,5	0
20°- 22°C	80,3	80,8	79,2	79,3	80,8	73,1
Over 22°C	12,9	9,2	12,2	15,9	14,7	26,9
Antal	132	120	221	276	177	26
<i>Soveværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Under 20°C	85,5	89,2	82,2	83,3	80,0	80,1
20°- 22°C	13,7	10,8	16,9	15,3	19,4	15,4
Over 22°C	0,8	0,0	0,9	1,4	0,6	3,8
Antal	131	120	213	275	175	26

Tabel 12. Sammenhæng mellem nye vinduer og oplevelse af indetemperatur.

Det samme gør sig gældende ved efterisolering af loft, men det er ikke helt så tydeligt. Derimod tyder det på, at beboere i ældre huse med efterisolering af loft i højere grad angiver, at de har højere temperaturer, men samtidig er der også en højere andel, som har svaret i den lavere kategori end huse uden efterisolering af loft.

	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
<i>Stue</i>	%	%	%	%	%	%
Under 20°C	6,8	11,2	7,5	4,7	4,9	0,0
20° - 22°C	84,7	73,0	78,0	81,2	78,4	85,4
Over 22°C	8,6	15,7	14,4	14,0	16,7	14,6
Antal	163	89	305	192	162	41
<i>Soveværelse</i>	%	%	%	%	%	%
Under 20°C	85,3	90,9	81,1	85,3	81,2	75,6
20° - 22°C	14,7	7,9	16,8	14,7	17,5	24,4
Over 22°C	0,0	1,2	2,0	0,0	1,2	0,0
Antal	163	88	297	191	160	41

Tabel 13. Sammenhæng mellem efterisolering af loft og oplevelse af indetemperatur.

Ud fra denne analyse ses der ikke et overbevisende klart billede af sammenhængen mellem renovering og oplevelse af indetemperatur. For eksempel ses der kun marginale forskelle for den store gruppe af tidlige typehuse.

Badning

Det sidste tema er badning, som er taget med selvom det ikke direkte relaterer sig til varmekonsum eller renoveringer i form af nye vinduer og efterisolering af loft.

Tabel 14 viser alligevel nogle signifikante forskelle. For senere typehuse med nye vinduer ser det ud til at beboerne tager færre bade. Det er dog baseret på en meget lille gruppe.

Derudover er der en klar signifikant forskel i forhold til antal bade for tidlige typehuse med og uden efterisolering, hvor huse med renovering tager markant flere bade. Dette kan imidlertid skyldes andre forhold såsom at husstanden består af flere personer eller at huset har flere badeværelser, hvilket vi ikke har undersøgt i denne analyse. Det kan muligvis også forklares ved at husstande, der vælger at efterisolere deres loft også har valgt at renovere badeværelset.

	A) Ældre huse		B) Tidlige typehuse		C) Senere typehuse	
	Uden	Med	Uden	Med	Uden	Med
Med eller uden nye vinduer						
Gns. antal ugentlige bade	12,4	12,4	10,9	11,8	14,9	12,0*
Antal	129	120	222	275	178	26
Med eller uden efterisolering af loft						
Gns. antal ugentlige bade	12,1	13,0	10,4	12,9***	14,6	14,0
Antal	161	88	305	192	163	41

Tabel 14. Sammenhæng mellem renoveringer og gennemsnitlige antal bade.

På den baggrund er det svært at sige noget klart om sammenhængen mellem badning og renoveringer.

Bilag 8. Referater fra centrale kilder vedrørende etageejendomme

Renovering af syv ejendomme

Baseret på: (Teknologisk Institut, 2018): *Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme*. Hovedrapport. August 2018.

Rapporten sammenfatter forsøg med energirenovering af syv etageejendomme, med måling af energiforbrug og indeklima før og efter renoveringen, og beskrivelse af de enkelte ejendomme der ligger til grund for undersøgelsen. Ejendommene er følgende:

	Type ejendom	Antal boliger	Renoveringsindsats	År for renovering	Temperatur Før/efter
Skoleparken, blok A4 *	Alment byggeri fra 1970'erne	390 boliger	Udvendig facadeisolering, nyt tag og isolering, vinduesudskiftning, centralt mekanisk balanceret ventilation	2015-2018	21,6 / 21,5 (13 lejligheder)
Skoleparken, blok B4*					
Ryesgade 25, København*	Ældre etageejendom fra før 1940, privat udlejning	42 boliger	Vinduesudskiftning, indvendig facadeisolering, decentralt mekanisk balanceret ventilation, nye taglejligheder	2016-2017	19 / 22 (29 lejligheder før, 21 efter)
Gadehavegaard, Taastrup*	Alment byggeri fra 1981	54 boliger	Renoveret til passivhusstandard: Udvendig facadeisolering, isolering af loft/tagrum, vinduesudskiftning, decentralt mekanisk ventilation, lukkede altaner, solceller	2014-2015	21,7 / 22,3 (6 lejligheder)
Hjortegården, Herlev	Alment byggeri fra 1970'erne	10 blokke med 900 boliger, målinger i én blok	Isolering af gavle, tagrum efterisoleres, rensning af ventilationskanaler	renoveres i etaper frem til 2019	21 / 21 (6 lejligheder)
Kildegårds Plads, Gentofte	Ældre etageejendom fra før 1940, privat udlejning	20 boliger	Tagudskiftning inkl. Isolering samt nyt varmeanlæg, konvertering		21 / 21 (6 lejligheder)
Holbergsgade, København	Ældre etageejendom fra før 1940, privat udlejning	15 boliger	Vinduesudskiftning	Udgået pga. ejerskift, der er ikke foretaget eftermålinger	

Den ene ejendom (Holbergsgade) er udgået, da der skete et ejerskift undervejs. En anden ejendom (Skoleparken) omfatter to forskellige blokke, der er

lidt forskellige, men overordnet kan de betragtes som én renovering. I to ejendomme er omfanget af energiforbedringer meget begrænset (Hjortegården og Kildegårds Plads), men det i de andre ejendomme (Skoleparken, Ryegade og Gadehavegaard) er relativt ambitiøst. Der er målt energiforbrug tre år før renoveringen, og der er målt på indeklima, tæthed af bygningen og forbrug af varmt brugsvand før renoveringen. Efter renoveringen er der målt på energiforbrug, indeklima, tæthed og forbrug af varmt brugsvand. Samtidig præsenterer rapporten en anden beregningsmetode til at vurdere energiforbruget efter renovering, som benyttes til alternative beregninger af energiforbruget.

Undersøgelsen viser, at de seks ejendomme har sparet i gennemsnit 18 % i varmekonsum efter renoveringen. Ifølge traditionelle beregninger kunne der forventes en besparelse på i gennemsnit 45 %. Ifølge den forbedrede beregningsmetode var der forventet en besparelse på 30 %. Den nye beregningsmetode giver således et mere realistisk billede af de forventede besparelser, selvom denne metode også overvurderer besparelserne. Den nye metode synes at måle mere præcist, desto større varmebesparelserne er.

Som årsager til, at de forventede varmebesparelser ikke opnås nævnes følgende:

- I flere ejendomme er der ikke lukket for varmen om sommeren, hvilket er en antagelse i energiberegningen. Det giver et for lavt udgangspunkt for før-beregningen
- Indregulering af ventilation: Et for høj luftskifte medfører et højere energiforbrug. Der regnes med 0,13 l/s pr. m³ i BR10-kravet. Der er målt ejendomme som har et luftskifte på 0,43 l/s pr m³, hvilket medfører et øget energiforbrug på 30 kWh/m² årligt.
- Bygningens tæthed: Når bygningerne ikke lever op til tætheden som foreskrevet i BR10, men i stedet har en tæthed som målt i de pågældende bygninger, medfører det et øget forbrug til opvarmning på en faktor 2,5
- Brugernes valg af indetemperatur: Der forudsættes i beregningerne en indetemperatur på 20 grader, hvilket svarer til et energiforbrug til opvarmning på 28,4 kWh/m². Hvis beboerne har en inde-temperatur på 22 grader, vil det medføre et energiforbrug til opvarmning på 36,7 kWh/m², som er omkring 30 % højere. Generelt er energieffektive bygninger mere følsomme for brugeradfærd som fx åbning af vinduer.

På baggrund af de opnåede resultater i de enkelte ejendomme er der udviklet en række pjecer med information og anbefalinger til bygningsejere, driftsansvarlige og beboere om, hvordan man bør forholde sig ved energirenovering af forskellige typer ejendomme. Det tager udgangspunkt i erfaringer fra hhv. Gadehavegaard (Taastrup), Skoleparken (Hillerød), Ryegade (København) og Kildegårds Plads (Gentofte).

Den ene af de syv ejendomme, Gadehavegaard, er beskrevet separat i en rapport: Energistyrelsen, EUDP-Sekretariatet (2015) *Gadehavegård - Renovering til Passivhusstandard*. Slutrapport. Eudp2009-li | Journal Nr. 63011-0078. September 2015.

Ryegade 30

Baseret på: (EUDP sekretariatet, 2014) *Resultater og erfaringer fra energirenovering af Ryegade 30*.

Før-målinger af energiforbrug og indeklima er formidlet i en separat rapport: (Andersen, 2011) *Rapport om konklusioner fra fase 1 –brugeradfærd før energirenoveringen*.

Forud for renovering af ejendommen blev der foretaget en prøverenovering af en enkelt lejlighed, hvilket også er afrapporteret i separat rapport, "*Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1tv*".

Ryesgade 30 er en boligejendom fra 1896 med 32 lejligheder. Den er beliggende på Nørrebro i København, og blev byfornyset i perioden 2011-2012. Den har en bevaringsværdi svarende til klasse 4 i SAVE klassifikationssystemet, hvilket også betyder, at der ikke er arbejdet med udvendig efterisolering.

Energiforbruget før renoveringen var på 156 kWh/m² pr. år. Gennem støtte fra EUDP og det daværende Indenrigsministerium var målsætningen at demonstrere løsninger til at energirenovere ældre etageboliger til den daværende lavenergiklasse 1, som var et forbrug på 35 kWh/m² pr. år. De væsentligste elementer i energirenoveringen var indvendig isolering, nye vinduer, ventilation med varmegenvinding samt et isolerede tag med nye tagboliger. Herudover blev der opsat solceller på taget.

Efter renoveringen er der målt et varmeforbrug på 78 kWh/m² årligt, og et forbrug på 5 kWh/m² til ventilation, i alt 83 kWh/m². Det reelle forbrug er således markant under det beregnede forbrug. Mulige årsager til dette beskrives som:

- Varme- og ventilationsanlæg frem til årsskiftet 2013/14 ikke indstillet og fungerede ikke optimalt, og at der derfor i den første tredjedel af måleperioden var skruet for højt op for både fremløbstemperatur og radiatorer.
- Beboerne har en højere rumtemperatur end de forudsatte 20°C. Målinger viser at de gennemsnitlige temperaturer efter renoveringen ligger på 22-23 grader.
- Mange beboere har en tendens til at åbne vinduerne for at få frisk luft, hvilket skaber ekstra store varmetab, da der i disse tilfælde ikke er varmegenvinding på ventilationen. En brugeradfærdsanalyse viser, at der er nogle beboere som ryger og har vinduerne åbne, og mange som åbner deres vinduer i soveværelse og stue dagligt for at lufte ud og få frisk luft ind.

Hvis temperaturen er holdt på 20 °C også efter renoveringen, ville det ifølge rapporten være muligt at opnå en besparelse uden solcelle produktionen på omkring 61 % eller et forbrug på 60,6 kWh/m² pr. år, og en besparelse på 63 % eller et forbrug på 57,3 kWh/m² pr. år med solcelleproduktionen. Dette ligger sig tæt op ad kravene til nye bygninger i henhold til bygningsreglementet 2010 (BR10).

Projektet fik i september 2013 tildelt RENOVER Prisen 2013 for året bedste renovering, og danner baggrund for den senere renovering af Ryesgade 30, som indgår i Teknologisk Institut's rapport.

Brændgårdsparken

Baseret på: (Simonsen, 2015) *Pilotprojekt Brændgårdsparken. Energikrav og beboernes energiforståelse og adfærd før og efter en energirenovering før og efter en energirenovering.*

Målsætningen for renoveringen af Brændgårdsparken var, at bebyggelsen efter renoveringen skulle leve op til energikravene i BR08, dvs. at energiforbrug til varmt vand og ventilation og energitab gennem klimaskærmen ikke måtte overstige kravene til nybyggeri i 2008. Dette mål blev ikke opfyldt, hvis man lægger det målte forbrug efter renoveringen til grund. I måleperioden har forbruget ligget på 103 kWh/m², dvs. en besparelse på 43 kWh/m² i forhold til de 146 kWh/m², der var udgangspunktet før renoveringen. Korrigeres der for et øget varmtvandsforbrug, en øget stuetemperatur samt gevinsten

ved egen el-produktion ved solceller, kommer det beregnede forbrug jf. principperne i BR08 ned på 92 kWh/m². Imidlertid stiller BR08 krav om, at en bygnings energiforbrug inkl. varmt vand ikke må oversige 70 kWh/m². Der har ikke været en systematisk måling af indetemperaturen, men det konstateres, at der "flere steder" er målt indetemperaturer efter renoveringen på 22 til 23 grader.

I praksis har pilotprojektet vist, at det reelt ikke er muligt at sammenligne målt og beregnet forbrug, da ikke mindst forbrugeradfærd spiller afgørende ind. Dertil kommer håndværksmæssige udførelser, indregulering af ventilationsanlæg, usikkerhed omkring tillæg af varmt vand, bygnings-el mv. Det bemærkes også, at nye beboere konsekvent har et lavere forbrug end gamle, dvs. tilbageflyttede beboere. I alt har de nyttilflyttede et varmeforbrug, der ligger 9 % under tilbageflyttede beboere. Det kan muligvis skyldes, at "gamle" beboere i højere grad nyder den øgede komfort af deres renoverede boliger, end nyttilflyttede.

Samtidig med målingerne blev beboerne tilbudt visualisering af deres forbrug via digitale skærme i lejlighederne. Desuden blev der udleveret informationsfoldere, tekniske hjælpemidler, og de pågældende beboere fik tilbudt rådgivning fra en energirådgiver i det omfang, der var behov herfor. Som det fremgår af rapporten, blev skærmene en teknologisk og ressourcemæssig udfordring, og ud fra en samlet vurdering af de opnåede besparelser og beboernes reaktioner, har effekten af denne form for synliggørelse ikke stået mål med forventninger og investering. Parallelt med den teknologisk baserede synliggørelse, blev der gennemført en lang række andre analoge tiltag fra boligforeningens side, dvs. beboermøder, uddeling af informationsmaterialer, opfølgning med personlige besøg og 1:1 dialog og vejledning.

Ud fra spørgeundersøgelser og interviews med beboerne vurderes det, at de besparelser, der trods alt er opnået og som måtte kunne henføres til ændret adfærd, er opnået gennem disse 'håndholdte' tiltag, som dog har været meget ressourcekrævende, og næppe vil være realiserbare inden for almindelig driftsøkonomi – hvert fald kun i reduceret og meget målrettet format.

Hornemanns Vænge

Baseret på: (Wissenberg AS, 2015) *Pilotprojekt Hornemanns Vænge. Kan det reelle energiforbrug efter en optimerende bygningsrenovering forudses gennem beregninger?*

Hornemanns Vænge er et alment etagebyggeri opført 1968, som rummer 288 boliger, fordelt på 22.230 m², hvortil kommer 5.560 m² kælder. Energirenoveringen gennemført 2011-2013 indebar følgende:

1. Efterisolering af facader og gavle, udskiftning af vinduer, inddækning af altaner samt udskiftning af tag.
2. Etablering af ventilationsanlæg med varmegenvinding.
3. Etablering af solvarmeanlæg.
4. Etablering af solcelleanlæg.

De indledende beregninger skabte en forventning om, at der gennem klimaskærmsforbedringer og ventilation med varmegenvinding kunne spares godt 1.800 MWh/år, svarende til en reduktion af behovet for opvarmning fra 119 kWh/m² til 58 kWh/m², altså en besparelse på 51 %. Der var ikke planlagt målinger af energiforbruget før renoveringsprojektet (der startede før pilotprojektet), men en samlet opgørelse fra HOFOR, leverandør af fjernvarme, viser at energiforbruget med renoveringen er faldet til 1.100 MWh, svarende til et forbrug på 94 kWh pr. m². Det giver en besparelse på 36 %, dvs. 15 %-point under det forventede.

Årsagerne til at man ikke nåede den forventede besparelser skyldes formentlig:

- En højere temperatur i lejlighederne efter renoveringen (fra 22,3 til 22,6 i stue og 19,8 til 21,2 i soveværelser). For hver grad rumtemperaturen øges over 20 °C, stiger varmetabet (og dermed energibehovet) med godt 7 %. For Hornemanns Vænge-bebyggelsen betyder det en øgning på 10 % i forhold til det beregnede forbrug.
- Et for højt luftskifte efter renoveringen. Elforbruget til driften af de nye anlæg har vist sig at være det dobbelte af det forventede. De endelige årsager hertil, fx utilstrækkelig indregulering, er ikke endeligt udredt ved pilotprojektets afslutning, men en mulig årsag kan være et for højt luftskifte, som så vil påvirke forskellen mellem det beregnede og det reelle forbrug, og måske endda udligne forskellen.

Blowerdoortests og kontrol af kuldebroer viste, at bygningerne efter renoveringen levede op til kravene, og at der derfor er tale om godt udført håndværk.

Etablering af solvarmeanlægget har ikke fungeret optimalt, og kom først i drift et år efter renoveringen. Solcelleanlæggets ydelse har vist, at de opsatte solceller har ydet som forventet, selvom der blev valgt et andet anlæg end projekteret.

Traneparken

Baseret på: (Rose et al, 2017) *Energirenovering af Traneparken*.
Teknologisk Institut

(Rose et al, 2015) *Tenants' Experiences and Satisfaction In Social Housing Subject to Comprehensive Retrofitting. A Danish Case Study*. SBI 2015:20

Boligbebyggelsen Traneparken, som oprindeligt er opført i 1969, har gennemgået en omfattende energirenovering fra november 2011 til oktober 2012. Bebyggelsen består af 3 etageboligblokke. Hver enkelt blok har 3 etager, i alt er der 66 lejligheder, og det samlede opvarmede etageareal er 5293 m².

Det primære mål med renoveringen var at rette op på nedslidte betonvægge og herudover renovere de øvrige nedslidte dele af bygningerne, forbedre indeklima, reducere energiforbruget (isolere konstruktioner, skifte vinduer, indføre balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding) og tilføje altaner. Målet var, at bebyggelsen skulle opfylde lavenergiklasse 2015 jf. BR10.

Der blev beregnet en forventet besparelse på 40 %, fra 105,7 til 63 kWh/m². I praksis blev besparelsen dog kun på 33 %. Det dækker dog over, at før-forbruget var højere end beregnet, og besparelsen derfor blev "lettere" at opnå. Forskellen i efter-forbruget mellem beregnet og reelt forbrug er således på 48 %. Der er foretaget målinger af indeklima i tre lejligheder efter renoveringen. De viser, at temperaturen i dagligstuerne varierer mellem 20,3 og 22,1 grader, mens den i soveværelserne er mellem 16,5 og 21,6 grader. Temperaturerne er således over de 20 grader, der ligger til grund for det beregnede forbrug.

Der er gennemført spørgeskemaundersøgelser blandt beboere om renoveringen, og deres energiadfærd før og efter. Før renoveringen havde 72 % af lejerne problemer med temperaturen, som var for lav. Efter renoveringen var der ingen som oplevede dette som et problem, og 76 % havde ingen problemer med temperaturen. Tilfredsheden med temperaturen skiftede med renoveringen fra at 78 % var utilfredse før, til at 84 % var tilfredse efter. Næsten halvdelen af beboerne (48 %) gav udtryk for, at deres energiforbrug var så lavt som forventet efter renoveringen. Det skal dog ses i lyset af, at 36 %

ikke kendte til deres energiforbrug. På spørgsmålet om "hvor interesseret er du i energi-effektiv adfærd i dit hverdagsliv" svarede 64 % at de er "interesserede", og 28 % "meget interesserede". Det modsvares dog ikke af praksis i forhold til aflæsning af energimålere; mindre end 1/3 aflæser deres forbrug hver måned, mens 2/3 kun aflæser forbruget årligt eller aldrig. Beboerne blev spurgt om de havde ændret adfærd efter renoveringen i forhold til varme og ventilation. Efter renoveringen har 52 % ændret vaner i forhold til hvordan temperaturen sættes; 44 % siger at temperaturen er højere efter renoveringen, mens 12 % siger den er lavere. Det kunne indikere, at dele af energibesparelsen er blevet omsat til en højere komfort. Efter renoveringen har 32 % af lejerne ændret vaner i forhold til udluftning; 28 % siger at de lufte mere ud, mens 4 % lufte mindre ud. Det kan indikere, at dele af den potentielle energibesparelse er omsat til bedre indendørs luftkvalitet. Hovedparten (68 %) lufte dog ud på samme måde som før.

Med hensyn til mere realistiske beregninger af energibesparelserne noteres det i rapporten (side 5), at ... "for at opnå et bedre estimat af det virkelige varmekonsum i bygningerne, er det nødvendigt at overveje den fremtidige brug af bygningen, og derefter tilpasse de anvendte værdier i beregningerne. Sammenligning mellem Be15 og de målte værdier viser, at det er en kompliceret og tidskrævende proces at opnå tilstrækkelig overensstemmelse mellem beregnet og målt energiforbrug".

Bilag 9. Interviewguide til beboere

Interviewguide for husstande i energi-renoverede ejendomme

Generelt

- Hvor gammel er du?
- Hvad laver du til daglig?
- Hvor mange bor i husstanden?
- Hvor længe har I boet her?

Ejendom og bolig før renoveringen

- Hvad var dit generelle indtryk af ejendommen før den blev renoveret?
- Oplevede I, at der var problemer / udfordringer ved boligerne og ejendommen før renoveringen?
 - Hvis ja: Hvilke? Indeklima, socialt, æstetisk? (særligt mht. indeklima, men også generelt)

Proces ved renovering

- Beskriv hvilke forandringer der er sket i din bolig som følge af renoveringen (særligt mht. indeklima, men også kvalitet og brug i øvrigt).
- Har I været involveret i tilrettelæggelse af renoveringen, og i valg af løsninger? Hvordan foregik processen?
- Var energi / miljø / indeklima et tema der blev diskuteret som et problem, og i valg af løsninger? Beskriv.
- Blev der opstillet forventninger til, hvor meget varmekonsumet ville ændre sig?

Ejendom og bolig efter renoveringen

- Hvad er dit overordnede indtryk af ejendommen efter renoveringen?
- Er problemerne blevet løst som forventet? Hvilke ting fungerer godt, og hvilke ting fungerer mindre godt? Beskriv.
- Hvordan er indeklimaet generelt? Hvor godt fungerer ventilationen?
- Hvor varmt har I det normalt i stuen – svarer det til i dag?
- Hvilke dele kan I selv regulere? Hvor tit gør I det?
- Hvilke dele skal I kommunikere med ejendomsfunktionær, boligselskab eller andre? Hvor tit sker det?
- Hvis du er i tvivl om hvordan ting virker, hvem henvender du dig til? (ejendomsfunktionær, boligselskab, naboer, familie,...)? Hvor tit sker det?
- Har renoveringen ændret noget ved din hverdag? Hvilke ændringer har især haft betydning for din hverdag? (køkken, bad, altaner, rumopdeling, vinduer, opgang, udearealer, bedre indeklima, højere komfort,...).
- Har renoveringen ændret ved din energiregning i forhold til før? Fylder den mindre ud af den samlede leje end før renoveringen? er der konkrete områder, hvor du har ændret din praksis eller adfærd? Beskriv nuværende praksis og ændringer i forhold til tidligere:
 - Højere temperatur i opholdsrum?
 - Mere ventilation?
 - Oftere udluftning?
 - Har sjældnere varmt tøj på indendørs?
 - Slut/tænd for belysning og varme?
 - Badevaner?

- Brug af boligen i det hele taget
- Er I samme husstand som før renoveringen?
- Hvad er årsagen til jeres ændrede praksis? (ønske om komfort, mindre opmærksomhed på varmeudgiften, muligt at varme lejligheden op i modsætning til tidligere, for at modvirke træk fra ventilation,...).
- Har I fået beskrevet særlige retningslinjer for, hvordan I bruger boligen efter renoveringen? (fx i forhold til ventilation, udluftning, opvarmning, ...)? Beskriv. Følger I disse retningslinjer?
- Har dit varmeforbrug ændret sig efter renoveringen, i forhold til hvad det var før? (havde du kendskab til varmeforbruget før renoveringen, og var der individuel opgørelse?) Har ændringen indfriet de forventninger du havde før renoveringen?
- Ved du hvorfor dit forbrug har ændret sig?
- Har du indtryk af, om det gælder for andre beboere også?

Afrunding:

Er der andre ting du kan komme i tanke om, som kan have haft betydning for husstandens varmeforbrug før og efter renoveringen?

Bilag 10. Interviewguide til ejendomsfunktionærer

0. Intro

Hvem vi er, vores projekt, hvorfor er vi her. Præsenter vores kendskab til casen.

Opdateringer om casen siden sidst, fx nye målinger, ændringer i teknikken etc?

1. Generelt

Hvad er din baggrund? Hvor længe har du været ansat i denne stilling? Tidligere erfaringer / uddannelse etc.?

Hvad er din funktion i forhold til drift af bygningen?

Hvilke opgaver har du? Hvor meget tid bruger du på dem (i denne ejendom)?

Hvilke opgaver har du som relaterer sig til energiforbruget i bygningen (varme, el, vand)?

Er der andre som er involveret i driften?

Hvilke eksterne kompetencer kan du trække på/hvem kan du kontakte, hvis du er i tvivl om forskellige forhold i driften?

2. Bygningen før renoveringen

Hvordan var dit generelle indtryk af ejendommen før renoveringen?

Hvilke problemer var der i forhold til fysisk standard, indeklima, ventilation, energiforbrug?

Hvordan registrerede I disse problemer?

Hvad var beboernes holdning eller oplevelse af bygningen og indeklimaet før renoveringen? Fik I mange klager?

Blev du involveret i tilrettelæggelsen af renoveringen, og i valg af løsninger? Hvordan foregik processen?

3. Om renoveringen

Hvilken rolle spillede energi og indeklima i renoveringen?

Hvilke forbedringer blev gennemført? (klimaskærm, varmeanlæg, individuel måling, ventilation (central / individuel), tætning, cts-anlæg...)

Blev der opstillet forventninger til, hvor meget energi der kunne spares?

Blev beboerne orienteret om hvordan løsningerne fungerer, og hvordan de undgår et for højt energiforbrug?

Blev du eller andre driftsfolk orienteret om, hvordan løsningerne fungerer, hvordan de skal driftes osv.?

Forløb renoveringen i forhold til energi og indeklima som forventet?

4. Efter renoveringen

Hvad er erfaringerne med de valgte løsninger – fungerer de?

Svarer besparelserne til det I havde fået stillet i udsigt?

I tilfælde af, at I ikke har opnået de forventede besparelser, har du et bud på hvorfor?

Er der foretaget en vurdering af, om renoveringen er gennemført korrekt, og om ventilation og varmeanlæg er indreguleret korrekt?

Hvad er beboernes holdning til eller oplevelse af bygningen og indeklimaet efter renoveringen? Får I mange klager og om hvad?

Følger du med i beboernes adfærd mht. forbrug af varme og vand, deres vaner mht. udluftning, regulering af ventilationen?

Har du lagt mærke til, om beboerne har ændret deres adfærd på disse punkter efter renoveringen? Hvordan – og har du en idé om hvorfor?

Er der gjort noget for at rette på evt. uhensigtsmæssig brug af boliger og installationer, og har det haft nogen effekt?

5. Opfølgning

Kontakt til beboere?

Måder vi selv kan kontakte dem på?

Relevant materiale om ejendommen?

Litteratur

- Andersen, P.V.K., Georg, S., Gram-Hanssen, K., Heiselberg, P., Horsbøl, A., Johansen, K., Johra, H., Marszal-Pomianowska, A., Møller, E.S., 2019. *Using residential buildings to manage flexibility in the district heating network: Perspectives and future visions from sector professionals*. 1st Nordic conference on Zero Emission and Plus Energy Buildings 1–9.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/352/1/012032>
- Bardsley, N., Büchs, M., James, P., Papafragkou, A., Rushby, T., Saunders, C., Smith, G., Wallbridge, R., Woodman, N., 2019. *Domestic thermal upgrades, community action and energy saving: A three-year experimental study of prosperous households*. *Energy Policy* 127, 475–485.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.036>
- Bierwirth, A., Thomas, S., 2019. *Energy sufficiency in buildings*. eceee.
- Brøgger, M., 2019. *Building stock energy modelling*. Aalborg Universitetsforlag.
- Brøgger, M., Bacher, P., Madsen, H., Wittchen, K.B., 2018. *Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks*. *Energy and Buildings* 181, 62–74.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.006>
- Calì, D., Osterhage, T., Streblow, R., Müller, D., 2016. *Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test*. *Energy and Buildings* 127, 1146–1158.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.020>
- Cembranel, S.S., Lezama, F., Soares, J., Ramos, S., Gomes, A., Vale, Z., 2019. *A Short Review on Data Mining Techniques for Electricity Customers Characterization*, in: 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia). Presented at the 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia), pp. 194–199. <https://doi.org/10.1109/GTDAAsia.2019.8715891>
- COWI, 2016. *Sammenhængen mellem boligens energistandard og forekomst af sygdomme hos beboerne - Analyse baseret på registerdata*.
- Darby, S.S.J., Liddell, C., Hills, D., Drabble, D., 2015. *Smart Metering Early Learning Project: synthesis report*. Department of Energy and Climate Change, London.
- Energistyrelsen, 2016. *Reboundeffekten for opvarmning af boliger*.
- Galvin, R., 2015. *The Rebound Effect in Home Heating: A guide for policy-makers and practitioners*. Routledge.
- Gram-Hanssen, K., 2014. *Retrofitting owner-occupied housing: remember the people*. *Building Research & Information* 42, 393–397.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2014.911572>
- Gram-Hanssen, K., Christensen, T.H., Petersen, P.E., 2012. *Air-to-air heat pumps in real-life use: Are potential savings achieved or are they transformed into increased comfort?* *Energy and Buildings* 53, 64–73.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.023>

- Gram-Hanssen, K., Friis, F., Jensen, J.O., Hansen, A.R., Bräuner, E., 2015. *Renovering af danske parcelhuse – eksisterende viden og nye erfaringer*. Statens Byggeforskningsinstitut SBI.
- Gram-Hanssen, K., Georg, S., 2018. *Energy performance gaps: promises, people, practices*. Building Research & Information 46, 1–9. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1356127>
- Gram-Hanssen, K., Georg, S., Christiansen, E., Heiselberg, P., 2018. *What next for energy-related building regulations?: the occupancy phase*. Building Research & Information 0, 1–14. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1426810>
- Gram-Hanssen, K., Hansen, A.R., 2016. *Forskellen mellem målt og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse*. SBI Forlag.
- Hansen, A.R., Gram-Hanssen, K., Knudsen, H.N., 2018. *How building design and technologies influence heat-related habits*. Building Research & Information 46, 83–98. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1335477>
- Hansen, A.R., Madsen, L.V., Knudsen, H.N., Gram-Hanssen, K., 2019. *Gender, age, and educational differences in the importance of homely comfort in Denmark*. Energy Research & Social Science 54, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.04.004>
- Hattori, K., Takahashi, M., 2000. *A new edited k-nearest neighbor rule in the pattern classification problem*. Pattern Recognition 33, 521–528. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00068-0](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00068-0)
- Jain, A.K., 2010. *Data clustering: 50 years beyond K-means*. Pattern Recognition Letters, Award winning papers from the 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR) 31, 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Jin, X., Han, J., 2017. K-Means Clustering, in: Sammut, C., Webb, G.I. (Eds.), *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. Springer US, Boston, MA, pp. 695–697. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7687-1_431
- Knudsen, H.N., Jensen, O.M., 2015. *Tenants' experiences and satisfaction with renovated and energy retrofitted social housing*. SBI forlag.
- Knudsen, H.N., Thomsen, K.E., Rose, J., Bergsøe, N.C., 2015. *Tenants' experiences and satisfaction in social housing subject to comprehensive retrofitting: A Danish case study*. SBI forlag.
- Majcen, D., Itard, L.C.M., Visscher, H., 2013. *Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications*. Energy Policy, Decades of Diesel 54, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.008>
- Marsh, R., Larsen, V.G., Kragh, M., 2010. *Housing and energy in Denmark: Past, present, and future challenges*. Building Research and Information 38, 92–106. <https://doi.org/10.1080/09613210903226608>
- Niemierko, R., Töppel, J., Tränkler, T., 2019. *A D-vine copula quantile regression approach for the prediction of residential heating energy consumption based on historical data*. Applied Energy 233–234, 691–708. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.025>
- Niras, 2015. *Sammenhæng mellem boligens energistandard og komfort*.
- NIRAS, 2013. *Analyse af praktiske erfaringer med energirenovering af bygninger i fire bygningssegmenter*.
- Rose, J., Thomsen, K.E., Mørck, O., Mayoral, M.S., Jensen, S.Ø., 2017. *Energirenovering af Traneparken*. Teknologisk Institut.

- Shipworth, M., Firth, S.K., Gentry, M.I., Wright, A.J., Shipworth, D.T., Lomas, K.J., 2010. *Central heating thermostat settings and timing: building demographics*. Building Research & Information 38, 50–69. <https://doi.org/10.1080/09613210903263007>
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., Sommerville, M., 2009. *Empirical estimates of the direct rebound effect: A review*. Energy Policy 37, 1356–1371. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.026>
- Sunikka-Blank, M., Galvin, R., 2012. *Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption*. Building Research & Information 40, 260–273. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.690952>
- Teknologisk Institut, 2018. *Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme*.
- Togeb, M., Zvingilaite, E., 2015. *Impact of Feedback about energy consumption*. EA Energianalyse.
- van den Brom, Paula, Hansen, A.R., Gram-Hanssen, K., Meijer, A., Visscher, H., 2019. *Variances in residential heating consumption – Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers*. Applied Energy 250, 713–728. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.078>
- van den Brom, P., Meijer, A., Visscher, H., 2019a. *Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings—longitudinal data analysis including building and occupant characteristics*. Energy and Buildings 182, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.025>
- van den Brom, P., Meijer, A., Visscher, H., 2019b. *Parameters that influence the probability on lower-than-expected energy savings - A pre- And post renovation energy consumption analysis of 90,000 renovated houses in the Netherlands*. Presented at the E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911104025>
- Videncenter for Energibesparelser i Bygninger, 2018. *Udskiftning af radiatorventiler/termostatstyringer*.
- Viegand Maagøe, 2018. *Gevinster ved øget brug af data og digitalisering i bygningsdrift*. Energistyrelsen.
- Winther, T., Wilhite, H., 2015. *An analysis of the household energy rebound effect from a practice perspective: spatial and temporal dimensions*. Energy Efficiency 8, 595–607. <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9311-5>
- Wittchen, K.B., Aggerholm, S., Kragh, J., 2017. *Varmebesparelse i eksisterende bygninger: Potentiale og økonomi*. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI.
- Wooldridge, J.M., 2003. *Introductory econometrics: a modern approach*. South-Western College Pub, Australia.

I rapporten *Beboernes betydning for den realiserede varmebesparelse ved renovering af boliger* svares der på, hvor stor en andel af det teoretisk beregnede besparelspotentiale ved renovering af boliger, man kan forvente at realisere i praksis. Rapporten peger på, at tekniske beregninger ikke er udviklet til at forudsige det reelle forbrug og besparelser efter en energirenovering. En teknisk vurdering af besparelspotentialet ved at renovere danske boliger peger på 30 % reduktion i forbruget. Denne rapport angiver derimod, at en reduktion på 12-18 % er mere realistisk. Hvis der er arbejdet meget aktivt med kommunikation til beboerne samt brug af teknologi til styring af varme og ventilationsanlæg, kan der opnås en reduktion på op til 14-20 % af det nuværende varmekonsum. Hvis der skal nås yderligere reduktioner i boligens energiforbrug til opvarmning, skal der arbejdes aktivt med politikker inden for såkaldt *sufficiency*, som blandt andet stiller spørgsmålstejn ved den stadige stigning i antal opvarmede kvadratmeter bolig per person.

1. udgave, 2020

ISBN 978-87-563-1942-3



BUILD

AALBORG UNIVERSITET